

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Sara Črnko

**UTJECAJ URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA
ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA NA
EKONOMIČNOST LETA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 3. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Zrakoplovna prijevozna sredstva**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4678

Pristupnik: **Sara Črnko (0135233217)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**


Zadatak: **Utjecaj uravnoteženja i opterećenja širokotrupnih zrakoplova na ekonomičnost leta**

Opis zadatka:

U radu je potrebno definirati parametre te opisati osnovne procese vezane za uravnoteženje i opterećenje zrakoplova. Potrebno je analizirati procese planiranja utovara te uravnoteženja i opterećenja uskotrupnih zrakoplova u te ukazati na sličnosti i razlike u odnosu na isti proces kod širokotrupnih zrakoplova. Utvrditi korelaciju između težine zrakoplova i područja centra težišta te uštede goriva na primjeru studije slučaja jednog širokotrupnog zrakoplova. Tijekom izrade studije slučaja potrebno je opisati specifičnosti širokotrupnog zrakoplova koji se analizira. Potrebno je navesti prijedloge i korektivne mjere s ciljem postizanja veće ekonomičnosti leta i uštede goriva na širokotrupnim zrakoplovima.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA
ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA NA
EKONOMIČNOST LETA**

**IMPACT OF WEIGHT AND BALANCE ON WIDE-
BODY AIRCRAFT FLIGHT EFFICIENCY**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Sara Črnko
JMBAG: 0135233217

Zagreb, 2018.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom diplomskom radu će se utvrditi na koji način postavljanje centra težišta u idealnu poziciju može utjecati na performanse zrakoplova s ciljem postizanja maksimalne ekonomičnosti na letu, tj. uštede goriva. Isto tako će se ukazati na razlike kod planiranja utovara i izrade liste uravnoteženja i opterećenja uskotrupnih i širokotrupnih zrakoplova. Posebni naglasak će biti stavljen na izradu planiranja utovara kod širokotrupnih zrakoplova s ciljem postizanja idealnog centra težišta kako bi se pridonijelo ekonomičnosti na dugo linijskim letovima. Širokotrupni zrakoplov, kao što je npr. Boeing 777, svojim aeroprofilom može značajno utjecati na potrošnju goriva što će biti i predmet studije slučaja. Smatra se da će detaljnom analizom uravnoteženja i opterećenja zrakoplova na primjeru studije slučaja zrakoplova Emirates Boeing 777 biti moguće dovesti u korelaciju odnos idealne pozicije centra težišta, ostvarivanje boljih performansi zrakoplova u letu te ušteda goriva.

Ključne riječi: sigurnost; ekonomičnost; idealni centar težišta; širokotrupni zrakoplovi; potrošnja goriva.

SUMMARY AND KEYWORDS

In this graduated thesis, it will be possible to determine how positioning of the ideal position can affect the performance of the aircraft in order to reach the center of gravity at maximum flight economy or fuel consumption. Similarly, the differences in planning loads and balancing lists and loads will point to the fact that wide body and narrow body aircraft are involved. Particular emphasis will be placed on making high-quality loading on wide body aircraft with a view to achieving an ideal center of gravity if it contributes to longhaul economy. Wide body aircraft, such as Boeing 777, can be fueled by its airoprofile which will also be the subject of case study. It is considered that the detailed balancing and load of the aircraft on the example of the aircraft case study Emirates Boeing 777 will be able to correlate the relationship ideal center of gravity positions, improved flight performance and fuel savings.

KEYWORDS: security, economy, ideal center of gravity, wide body aircraft, fuel consumption.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. OSNOVNI PARAMETRI PRI URAVNOTEŽENJU I OPTEREĆENJU ZRAKOPLOVA	4
2.1. AERODINAMIČKE SILE.....	4
2.2. AERODINAMIČKE OSI I MOMENTI.....	5
2.3. MASE ZRAKOPLOVA.....	6
2.3.1. KONSTRUKCIJSKE MASE ZRAKOPLOVA	6
2.3.2. STVARNE MASE ZRAKOPLOVA	8
2.3.3. OPERATIVNE MASE ZRAKOPLOVA	9
2.4. METODE IZRAČUNA CENTRA TEŽIŠTA ZRAKOPLOVA.....	9
2.5. UTJECAJ URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA ZRAKOPLOVA NA SIGURNOST LETA	12
2.5.1. UTJECAJ PREKORAČENJA DOPUŠTENIH MASA.....	12
2.5.2. UTJECAJ POLOŽAJA CENTRA TEŽIŠTA	13
2.5.3. NARUŠAVANJE LETNIH ZNAČAJKI ZRAKOPLOVA	13
2.6. DOKUMENTACIJA U PROCESIMA URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA ZRAKOPLOVA	14
3. RAZLIKE U PLANIRANJU URAVNOTEŽENJA USKOTRUPNIH I ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA.....	20
3.1. PLANIRANJE URAVNOTEŽENJA USKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA.....	20
3.1.1. UTOVAR ZRAKOPLOVA A319.....	21
3.1.2. PUTNICI I POSADA	26
3.1.3. MASE ZRAKOPLOVA.....	27
3.2. PLANIRANJE URAVNOTEŽENJA ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA	28
3.2.1. UTOVAR ZRAKOPLOVA B777	28
3.2.2. PUTNICI I POSADA	37
3.3. RAZLIKE U PLANIRANJU URAVNOTEŽENJA USKOTRUPNIH I ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA	38
4. PARAMETRI KOD URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA ZRAKOPLOVA KOJI UTJEČU NA EKONOMIČNOST LETA	50
5. URAVNOTEŽENJE ŠIROKOTRUPNOG ZRAKOPLOVA: STUDIJA SLUČAJA EMIRATES BOEING B777	56
5.1. URAVNOTEŽENJE ZRAKOPLOVA B777.....	56
5.2. ANALIZA LISTA ZA URAVNOTEŽENJE I OPTEREĆENJE ZRAKOPLOVA B777	67
6. ZAKLJUČAK	80
POPIS LITERATURE	81
POPIS SLIKA	82

POPIS TABLICA	84
POPIS GRAFOVA.....	85

1. UVOD

Uravnoteženje i opterećenje zrakoplova (*engl. Weight and Balance*) je jedan od faktora koji utječe na sigurnost letenja. Pretežak zrakoplov ili onaj kojemu je centar težišta izvan dozvoljenih granica, postaje teško upravljiv i opasan za letenje.

Osim utvrđivanja položaja centra težišta, u uravnoteženje i opterećenje zrakoplova spada i kontrola utovara zrakoplova, njegovih putničkih i teretnih kapaciteta, briga o pravilnom utovaru, slanje i primanje operativnih poruka putem SITA komunikacijskog sustava.

Centar težišta zrakoplova je točka u kojoj djeluje težina zrakoplova kao koncentrirana masa. U toj je točki hvatište sile teže, odnosno to je točka u kojoj bi zrakoplov bio u ravnoteži kada bi ga bilo moguće u njoj poduprijeti. Centar težišta mora se kretati unutar određenih, objavljenih granica, a posebnu pažnju potrebno je obratiti prilikom planiranja utovara.

U letu djeluju sile:

- Težina (*engl. Weight*) G – sila koja sve vuče prema središtu zemlje, a suprotna je sili uzgona.
- Sila otpora (*engl. Drag*) F_x – svako tijelo koje leti kroz zrak, osjetit će otpor pri kretanju koji nastaje trenjem zraka o površinu zrakoplova.
- Sila uzgona (*engl. Lift*) F_z – aerodinamička sila koja nastaje prilikom strujanja zraka oko krila i djeluje suprotno gravitacijskoj sili iz centra potiska.
- Vučna ili potisna sila (*engl. Thrust*) F_t (v) – proizvodi ju motor zrakoplova, a koristi se kako bi „vukla“ zrakoplov.

Osim sila, na zrakoplov djeluju i momenti koje te sile uzrokuju. Statička stabilnost zrakoplova zadovoljena je kada je suma svih momenata jednaka nuli. Sve se sile kao i inercijalne osi sijeku u centru težišta zrakoplova. Da bi zrakoplov bio upravljiv, mora postojati mogućnost stabiliziranja zrakoplova oko svih osi:

- Os x – prolazi nosom zrakoplova, duž trupa
- Os y – okomita je na os x , prolazi kroz krila
- Os z – prolazi kroz trup zrakoplova, okomito na njega.

Maksimalno dozvoljene mase zrakoplova određuje proizvođač, ovisno o čvrstoći konstrukcije zrakoplova, snazi motora i uzgonu koji krila određenog zrakoplova mogu proizvesti pod operativnim uvjetima za koje je dotični zrakoplov konstruiran. Svako odstupanje od propisanih maksimalnih dopuštenih masa zrakoplova ima za

posljedicu ugrožavanje sigurnosti zrakoplova, putnika i djelatnika na zračnoj luci te ostalih ljudi koji se nalaze u neposrednoj blizini zrakoplova.

Zakonsku osnovu, vezanu za uravnoteženje i opterećenje zrakoplova, u Republici Hrvatskoj čine:

- Zakon o zračnom prometu (NN 69/09, 84/11, 54/13, 127/13, 92/14, na snazi od 05.08.2014.),
- Pravilnik o službi prihvata i otpreme na aerodromu (02-02-2-469-1/07)
- Pravilnik o stručnoj spremi, ispitima i dozvolama za rad stručnog osoblja koje obavlja poslove od značaja za sigurnost zračne plovidbe (NN 53/91, 26/93, 109/93).

Dokumenti koji su potrebni u prijehu i otpremi zrakoplova su: Generalna deklaracija, Putnički manifest, Teretni manifest, a uz njih operateri zrakoplova zahtijevaju i listu uravnoteženja i opterećenja zrakoplova, nalog za utovar tereta, te potvrdu o tehničkoj ispravnosti zrakoplova. Operator zrakoplova dužan je izraditi i objaviti Operativni priručnik (*engl. Operations Manual - OM, Ground Operations Manual - GOM*) ili Priručnik za opsluživanje zrakoplova (*engl. Aircraft Handling Manual - AHM*) te će na taj način svaki zračni prijevoznik odrediti prioritete i način korištenja svojih zrakoplova.

Postoji razlika između planiranja utovara i izrade liste uravnoteženja i opterećenja uskotrupnih i širokotrupnih zrakoplova je pronaći idealan centar težišta, što može utjecati na performanse zrakoplova s ciljem postizanja maksimalne ekonomičnosti na letu, odnosno uštede goriva. Idealan položaj centra težišta postigao bi se točnim podacima o masi putnika i njihove prtljage te tereta koji bi se utovarilo u zrakoplov, a osim utovara na položaj centra težišta uveliko imaju utjecaj meteorološki uvjeti na koje se ne može utjecati.

Svrha istraživanja je staviti poseban naglasak na izradu planiranja utovara kod širokotrupnih zrakoplova s ciljem postizanja idealnog centra težišta kako bi se pridonijelo ekonomičnosti na dugolinijskim letovima.

Cilj je detaljnom analizom uravnoteženja i opterećenja zrakoplova na primjeru studije slučaja zrakoplova Emirates Boeing 777 dovesti u korelaciju odnos idealne pozicije centra težišta, ostvarivanje boljih performansi zrakoplova u letu te ušteda goriva.

Rad se sastoji od šest poglavlja:

1. Uvod
2. Osnovni parametri pri uravnoteženju i opterećenju zrakoplova
3. Razlike u planiranju uravnoteženja uskotrupnih i širokotrupnih zrakoplova

4. Parametri kod uravnoteženja i opterećenja zrakoplova koji utječu na ekonomičnost leta
5. Uravnoteženje širokotrupnog zrakoplova: studija slučaja Emirates Boeing B777
6. Zaključak.

U prvom, uvodnom dijelu, definirani su predmet istraživanja, svrha i istraživanja cilj istraživanja, te je predložena struktura rada prema poglavljima.

U drugom poglavlju su opisane sile, momenti i osi zrakoplova, mase zrakoplova, metode izračuna centra težišta zrakoplova, utjecaj uravnoteženja i opterećenja zrakoplova na sigurnost leta te dokumentacija u procesima uravnoteženja i opterećenja zrakoplova.

U trećem poglavlju je opisan način planiranja uravnoteženja uskotrupnih i širokotrupnih zrakoplova, te su opisane razlike u planiranju uravnoteženja uskotrupnih i širokotrupnih zrakoplova.

U četvrtom poglavlju su definirani parametri koji se kod planiranja leta zrakoplova trebaju uzeti u obzir kada se govori o ekonomičnosti leta.

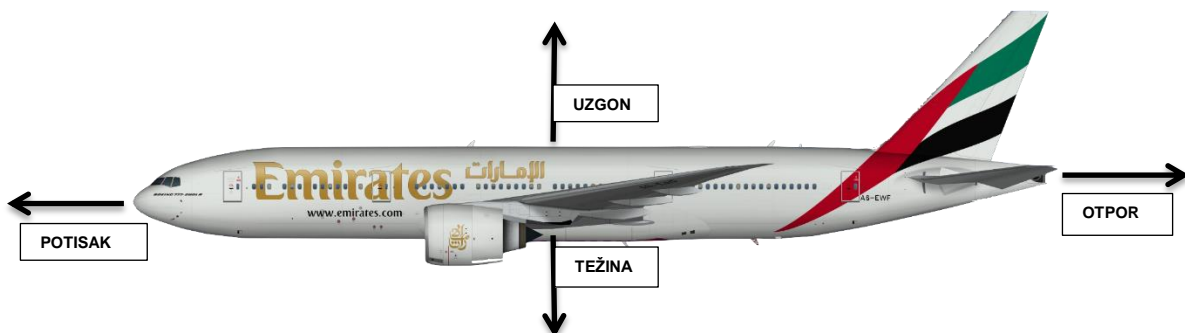
U petom poglavlju, u prvom dijelu opisan je proces uravnoteženja zrakoplova B777, dok se u drugom dijelu poglavlja analiziraju liste za uravnoteženje i opterećenje dvadeset i dva zrakoplova B777.

U posljednjem, zaključnom dijelu, su predloženi konkretni rezultati istraživanja predmetne tematike diplomskog rada.

2. OSNOVNI PARAMETRI PRI URAVNOTEŽENJU I OPTEREĆENJU ZRAKOPLOVA

2.1. AERODINAMIČKE SILE

Zrakoplov je letjelica teža od zraka na čiji let utječu četiri sile: uzgon, otpor, težina i potisak, prikazane na slici 1. Sila uzgona poništava težinu zrakoplova, a sila potiska poništava silu otpora. Za let zrakoplova potrebno je osigurati veću silu uzgona od težine zrakoplova, kao i veću silu potiska od sile otpora koju stvara zrakoplov kretanjem kroz zrak.



Slika 1. Sile koje djeluju na zrakoplov

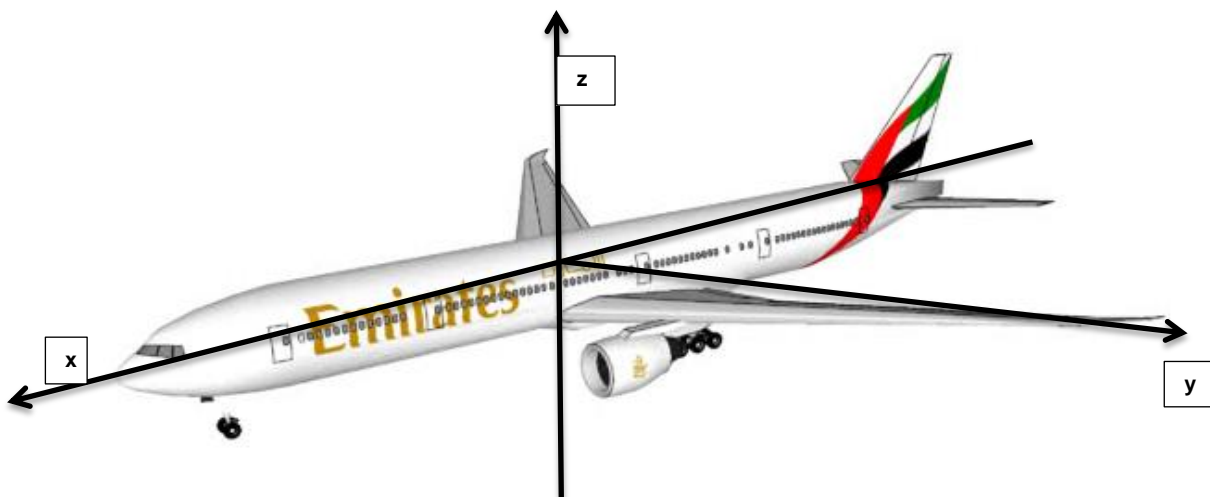
Izvor: URL: <http://redwoodva.net/index.php/aircraft> (pristupljeno: svibanj 2018.)

Na zrakoplov djeluju sile:

- **Težina (engl. Weight) G** – sila koja sve vuče prema središtu zemlje, a suprotna je sili uzgona. Težina je ukupna masa zrakoplova te odgovara gravitacijskoj sili zemljine sile teže.
- **Sila otpora (engl. Drag) F_x** - svako tijelo koje leti kroz zrak, osjetit će otpor pri kretanju koji nastaje trenjem zraka o površinu zrakoplova. Postoje dvije vrste otpora: otpor trenja i otpor oblika ili tlačni otpor. Otpor trenja i otpor oblika zajedno tvore otpor profila.
- **Sila uzgona (engl. Lift) F_z** - aerodinamička sila koja nastaje prilikom strujanja zraka oko krila i djeluje suprotno gravitacijskoj sili iz centra potiska. Osim krila, za stvaranje sile uzgona, potrebne su i horizontalne repne površine te trup zrakoplova. Povećanjem brzine strujanja zraka preko gornje površine krila, koja ima veću zakrivljenost od donje, stvara se sila uzgona koja nastoji krilo pomaknuti prema gore. Sila uzgona može se konstrukcijski povećati dodavanjem uređaja za hiper potisak (predkrilca i zakrilca) kao i povećanjem napadnog kuta.
- **Vučna ili potisna sila (engl. Thrust) F_t (v)** – proizvodi ju motor zrakoplova, a koristi se kako bi „vukla“ zrakoplov.

2.2. AERODINAMIČKE OSI I MOMENTI

Moment je sprega sile i kraka. Na zrakoplov djeluje nekoliko momenata, ovisno oko koje osi se stvara sila. Osi su prikazane na slici 2.



Slika 2. Osi za određivanje momenata zrakoplova

Izvor: URL:

<https://3dwarehouse.sketchup.com/collection/c0a06a87950d5e9249c99822d95befe2/planes> (pristupljeno: svibanj 2018.)

Da bi zrakoplov bio upravljiv, mora postojati mogućnost stabiliziranja zrakoplova oko svih osi:

- **Os x** – prolazi nosom zrakoplova, duž trupa
- **Os y** – okomita je na os x, prolazi kroz krila
- **Os z** – prolazi kroz trup zrakoplova, okomito na njega.

Za sigurno uravnoteženje zrakoplova primjenjuje se načelo izjednačavanja momenata oko osi Y, koji mogu biti pozitivni i negativni. Moment poniranja negativan je jer djeluje u pravcu suprotnom od smjera kazaljke na satu, dok je pozitivan moment, moment podizanja jer djeluje u smjeru kazaljke na satu. Potrebno je samo osigurati stabilnost po osi y, pravilnim utovarom tereta unutar trupa zrakoplova, zato jer je uvjet za momente oko osi x i osi z zadovoljen simetričnom konstrukcijom zrakoplova. Prilikom planiranja utovara potrebno je voditi računa da centar težišta zrakoplova bude u aerodinamičkom centru ili što je moguće bliže aerodinamičkom centru, kako bi se moment po osi y smanjio što je moguće više.

Da bi zrakoplov bio u ravnoteži, zbroj pozitivnih i negativnih momenata treba biti jednak nuli, a da bi zbroj momenata bio jednak nuli, prije svakog polijetanja zrakoplova potrebno je izračunati položaj težišta za svaku od njegovih stvarnih masa.

2.3. MASE ZRAKOPLOVA

Proizvođač zrakoplova određuje maksimalno dozvoljene mase zrakoplova, kao i položaj centra težišta, te granice unutar kojih je dozvoljeno odstupanje od njega. Masa zrakoplova prilikom preuzimanja od proizvođača, ovisi o opremi ugrađenoj / isporučenoj po želji kupca/operatora. Nakon preuzimanja zrakoplova, a prije njegovog uključivanja u redoviti promet, operator je dužan u literaturi objaviti maksimalno dopuštene mase zrakoplova, kao i položaj centra težišta, te dozvoljene granice odstupanja za svaki operativni zrakoplov.

Najčešći uzroci za uvođenje najvećih dopuštenih masa zrakoplova su:

- Nadmorska visina aerodroma
- Nagib uzletno sletne staze
- Dužina uzletno sletne staze
- Prepreke koje se nalaze u neposrednoj blizini uzletno sletne staze
- Smjer i jačina vjetrova
- Temperatura zraka
- Neravnine na manevarskim površinama.

Najveće dopuštene mase zrakoplova uvijek su niže od najvećih konstrukcijskih masa, a uvode se zbog uvjeta na uzletno sletnim stazama, rulnim stazama, stajanci, ali i meteoroloških uvjeta koji vladaju na zračnoj luci i oko nje.

2.3.1. KONSTRUKCIJSKE MASE ZRAKOPLOVA

Najveće konstrukcijske mase zrakoplova određuje proizvođač. Zračni prijevoznik, prema preporukama proizvođača, izrađuje Priručnik za prihvat i otpremu zrakoplova (*engl. Aircraft Handling Manual*). Iz njega se te iste mase prepisuju u listu opterećenja ukoliko proizvođač zrakoplova ne odredi druge mase kao najveće dopuštene mase zbog faktora koji će biti spomenut dalje u tekstu.

Konstrukcijske mase zrakoplova su određene pri projektiranju i izradi zrakoplova, odnosno projektiranju određenih dijelova zrakoplova, a uvjetovane su strukturalnom čvrstoćom u pojedinim fazama korištenja. Bez obzira na ugradnju novih, dodatnih dijelova, ne mogu se mijenjati ukoliko to nisu dopustili konstruktori i nadležne zrakoplovne vlasti.

Neki od problema koji se javljaju zbog prevelike mase zrakoplova su:

- zrakoplov mora postići veću brzinu pri polijetanju, što iziskuje dulju uzletno sletnu stazu
- smanjena brzina i kut penjanja
- smanjena visina leta
- smanjena brzina krstarenja
- kraći dolet - smanjena pokretljivost zrakoplova
- povećana duljina uzletno sletne staze pri slijetanju
- povećano opterećenje strukture zrakoplova
- veća potrošnja goriva.

Konstruktivske mase zrakoplova su:

- **Najveća konstrukcijska masa zrakoplova na stajanci (engl. *Maximum Design Ramp Mass, MDRM*)** je najveća moguća masa potpuno opterećenog zrakoplova. Ista se ne smije prekoračiti zbog narušavanja čvrstoće strukture zrakoplova. Pod takvim opterećenjem zrakoplov se ne smije kretati.¹
- **Najveća konstrukcijska masa zrakoplova pri kretanju (engl. *Maximum Design Taxi Mass, MDTM*)** je masa pri kojoj zrakoplov može krenuti snagom vlastitih motora ili biti vučen, odnosno biti guran drugim vozilom. Prekoračenjem ove mase dolazi do strukturalnih oštećenja na spojevima trupa i podvozja te krila i trupa zrakoplova.²
- **Najveća konstrukcijska masa zrakoplova pri polijetanju (engl. *Maximum Design Take-off Mass, MDTOM*)** je masa pri kojoj zrakoplov može sigurno poletjeti na određenoj uzletno sletnoj stazi. Ista je uvjetovana aerodinamičkim značajkama zrakoplova te snagom motora. Razlika u masi između najveće konstrukcijske mase zrakoplova pri kretanju i najveće konstrukcijske mase zrakoplova pri polijetanju je potrošeno gorivo iskorišteno za pokretanje motora i vožnju po rulnoj stazi od pozicije na stajanci do uzletno sletne staze (Taxi fuel).³
- **Najveća konstrukcijska masa zrakoplova bez goriva (engl. *Maximum Design Zero Fuel Mass, MDZFM*)** je masa do koje se zrakoplov smije opteretiti. Prekoračenjem ove mase dolazi do strukturalnog oštećenja na spojevima trupa i krila zrakoplova, stvara se tzv. moment sklapanja krila.⁴

¹ URL: http://www.smartcockpit.com/docs/Getting_To_Grips_With_Weight_and_Balance.pdf (pristupljeno: svibanj 2018.)

² Ibid

³ Ibid

⁴ Ibid

- **Najveća konstrukcijska masa zrakoplova pri slijetanju (engl. *Maximum Design Landing Mass, MDLM*)** je masa pri kojoj zrakoplov može sigurno sletjeti. Prekoračenjem ove mase izazivaju se strukturalna oštećenja stajnog trapa, spojeva krila kao i trupa zrakoplova.⁵

Zračni prijevoznik, prema preporukama proizvođača, izrađuje priručnik za svaki model zrakoplova pod nazivom *Aircraft Handling Manual*, u kojem se nalaze svi podaci vezani uz najveće konstrukcijske mase zrakoplova, prema kojima se izrađuje lista uravnoteženja i opterećenja zrakoplova.

2.3.2. STVARNE MASE ZRAKOPLOVA

Stvarne mase zrakoplova primjenjuju se u proračunavanju masa zrakoplova, centra težišta te izdavanju liste uravnoteženja i opterećenja zrakoplova za svaki pojedini let. Stvarne mase su mase s kojima se zrakoplov kreće po manevarskim površinama, polijeće ili slijeće. Iste smiju biti manje ili jednake dopuštenim masama zrakoplova, iako se u praksi uvijek gleda da budu manje.

Razlikuju se sljedeće stvarne mase kako slijedi:

- **Tvornička masa praznog zrakoplova (engl. *Manufacturer's Empty Mass, MEM*)** je masa zrakoplova koji je tek izašao iz tvornice sa svim osnovnim dijelovima, motorima, instalacijama i obaveznom opremom na osnovu koje je zrakoplov dobio uvjerenje o plovidbenosti od nadležne civilne uprave.⁶
- **Osnovna masa praznog zrakoplova (engl. *Basic Empty Mass, BEM*)** je masa zrakoplova sa provjerenim sustavima, mazivom u rezervoarima i gorivom potrebnim za let.⁷
- **Osnovna masa zrakoplova (engl. *Basic Mass, BM*)** je masa zrakoplova sa svom naručenom opremom, sa provjerenim sustavima, mazivom u rezervoarima te gorivom.⁸
- **Stvarna masa zrakoplova u polijetanju (engl. *Actual Take-off Mass, ATOM*)** je zbroj operativne mase i ukupno ukrcanog tereta.⁹

⁵ URL: http://www.smartcockpit.com/docs/Getting_To_Grips_With_Weight_and_Balance.pdf (pristupljeno: svibanj 2018.)

⁶ Ibid

⁷ Ibid

⁸ Ibid

⁹ Ibid

- **Stvarna masa zrakoplova u slijetanju (engl. Actual Landing Mass, ALM)** je masa umanjena za potrošeno gorivo od mase zrakoplova pri uzlijetanju.¹⁰
- **Stvarna masa zrakoplova bez goriva (engl. Actual Zero Fuel Mass, AZFM)** je zbroj suhe operativne mase i ukupno ukrcanog tereta.¹¹
- **Stvarna masa zrakoplova za rulanje (engl. Actual Taxi Mass, ATM)**, na suhu operativnu masu dodana je masa ukrcanog tereta i masa goriva.¹²

2.3.3. OPERATIVNE MASE ZRAKOPLOVA

Za potrebe uravnoteženja i opterećenja zrakoplova određen je niz masa zrakoplova kako bi se mogao proračunati položaj težišta i provjeriti da niti jedna masa nije prekoračena.

Operativne mase zrakoplova i njima pridruženi indeksi služe za proračunavanje opterećenja i uravnoteženja zrakoplova, provjerom stvarnog stanja dopuštenog opterećenja zrakoplova te uvjetovanjem položaja smještanja tereta.

U operativne mase zrakoplova ubrajaju se:

- **Suha operativna masa (engl. Dry operating Mass, DOM)**, dobije se kada se na osnovnu masu zrakoplova nadoda masa posade i njihove prtljage, masa hrane i pića, predmeta za prodaju i opreme koja se stalno nalazi u zrakoplovu.¹³
- **Operativna masa zrakoplova (engl. Operating Mass, OM)**, dobije se kada se na suhu operativnu masu zrakoplova nadoda masa goriva.¹⁴

2.4. METODE IZRAČUNA CENTRA TEŽIŠTA ZRAKOPLOVA

Centar težišta zrakoplova je točka u kojoj djeluje masa zrakoplova kao koncentrirana masa. U toj je točki hvatište sile teže, odnosno to je točka u kojoj bi zrakoplov bio u ravnoteži kada bi ga bilo moguće u njoj poduprijeti. Centar težišta mora se kretati unutar određenih, objavljenih granica, a posebnu pažnju potrebno je obratiti na njega prilikom planiranja utovara.

¹⁰URL: http://www.smartcockpit.com/docs/Getting_To_Grips_With_Weight_and_Balance.pdf
(pristupljeno: svibanj 2018.)

¹¹ Ibid

¹² Ibid

¹³ Ibid

¹⁴ Ibid

Položaj centra težišta zrakoplova na određenim objavljenim masama, kao i njegove granice, određuje proizvođač. Na njegov položaj utječe razmještaj posade zrakoplova u pilotskoj i putničkoj kabini, razmještaj putnika i prtljage u kabini zrakoplova, kao i količina i razmještaj utočenog goriva, te razmještaj tereta u prtljažnim prostorima zrakoplova.

Težište materijalnog tijela predstavlja točku u kojoj djeluje rezultantna sila što djeluje na to tijelo. Može se reći da je u toj točki sabrana ukupna masa tijela, odnosno sustav materijalnih točaka.

Postoji nekoliko metoda po kojima se izračunava položaj hvatišta sile teže, a svaki prijevoznik odlučuje za sebe kojim će se načinom izračunavanja koristiti.

Uravnoteženje i opterećenje zrakoplova pomoću računala danas je najčešće korišten način. Računalo je putem specifičnih računalnih programa povezano sa svim ostalim računalima unutar jedne zračne luke i sa računalima na zračnim lukama diljem svijeta, što osigurava široku bazu podataka koji su potrebni za uravnoteženje i opterećenje zrakoplova.

Uz određenu programsku podršku na računalu se izračunava masa i centar težišta, dok na zaposleniku uravnoteženja i opterećenja zrakoplova ostaje da taj računalni program nauči koristiti te da na računalu primjeni stvarno stanje o zrakoplovu.

Ovakav način izračuna uravnoteženja i opterećenja najbrži je i najsigurniji, lako se rade izmjene i dopune utovara koje su u praksi vrlo česte. Položaj centra težišta zrakoplova izvan dozvoljenih granica može uzrokovati nesreću zrakoplova, zato je važno, prilikom planiranja utovara zrakoplova, isplanirati razmještaj putnika i tereta tako da položaj centra težišta u svim fazama kretanja zrakoplova bude unutar dozvoljenih granica.

Osim toga, ovom metodom otvara se mogućnost povezivanja i kompjuterizacije svih segmenata prihvata i otpreme putnika, robe, pošte i prtljage. Nadalje, smanjuje se vrijeme izrade liste utovara i liste uravnoteženja i opterećenja, a time i vrijeme čekanja zrakoplova na zemlji, odnosno vrijeme potrebno za prihvata i otpremu zrakoplova. Jedini nedostatak joj je relativno visoka cijena opreme i programa koji se koriste u tu svrhu.

Korištenje indeksne metode također je zahvalno. Indeks je broj koji predstavlja moment, a u sprezi s masom određuje položaj težišta.

Formula koja se koristi u ovoj metodi glasi:

$$\text{Indeks} = \frac{W \times (\text{STA} - \text{REF. STA})}{C} \times K \quad (1)$$

Gdje su:

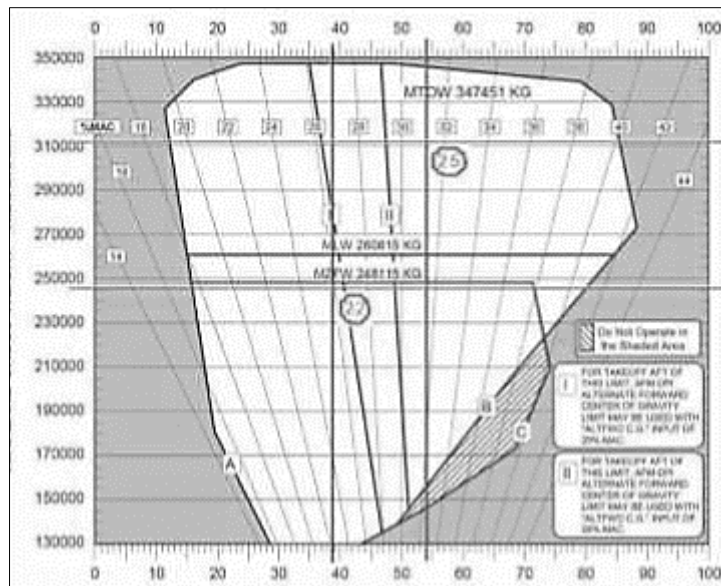
- W = stvarna težina [N]
- STA = Horizontalna udaljenosti od početne točke mjerenja na prednjem dijelu zrakoplova do tražene točke [m]
- REF.STA = određena točka u kojoj se računaju vrijednosti težišta praznog zrakoplova [m]
- C = trajna vrijednost kojom se vrijednost momenata pretvara u indeksnu vrijednost
- K = trajna vrijednost za izbjegavanje negativnih vrijednosti.

Grafička metoda se od indeksne razlikuje po tome što se dugotrajno računanje i rad sa decimalnim brojevima zamjenjuje crtanjem, kao što je prikazano na slici 3. Zrakoplov se dijeli u sekcije (putnička kabina A,B,C,D, prtljažni broj 1, 2, 3, 4, 5,...) koje su grafički prikazane i podijeljene prema svom utjecaju na težišta s obzirom na teret koji se utovaruje u njih.

Rezultati korektivnih indeksa za putnike, teret i gorivo unose se (ucrtavaju) na poseban grafikon te na taj način dolazi do konačnog položaja težišta utovarenog zrakoplova.

Tabelarna indeksna metoda omogućuje da se zrakoplov kao i u grafičkoj metodi dijeli u sekcije koje su ovdje prikazane tabelarno s proračunatim momentima, tj. utjecajem na položaj težišta zrakoplova indeksima.

Ravnoteža je stanje u kojem su sve sile koje djeluju na neki sustav međusobno ujednačene, a može biti labilna, indiferentna i stabilna. Zrakoplov se mora nalaziti u području stabilne ravnoteže kako bi se mogao kretati, polijetati i slijetati.



Slika 3. Prikaz grafičkog izračunavanja težišta zrakoplova B777

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

2.5. UTJECAJ URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA ZRAKOPLOVA NA SIGURNOST LETA

Svaki zrakoplov je konstruiran na način da zadovolji određenu nosivost i masu tereta koju može podnijeti. Mase ne smiju biti prekoračene i trebaju biti raspoređene na način da osiguraju siguran let.

2.5.1. UTJECAJ PREKORAČENJA DOPUŠTENIH MASA

Prekoračenjem dopuštenih masa narušava se struktura zrakoplova. Zrakoplovna konstrukcija je na spojevima krila i trupa najosjetljivija te svako prekoračenje dopuštenih masa ima utjecaj na taj dio.

Stajni trap projektiran je za nanošenje mase u granicama dopuštenih masa te svako preopterećenje može prouzročiti oštećenje.

U slučaju prekoračenja dopuštenih masa, krila zrakoplova kod polijetanja neće stvoriti dovoljno uzgona za podizanje preteškog zrakoplova.

Ukrcajem tereta koji svojom masom prelazi dopuštenu podnu nosivost mogu nastati strukturalna oštećenja trupa zrakoplova.¹⁵

¹⁵ Jirasek, D.: Težine i uravnoteženje zrakoplova, Zračna luka Zagreb, Zagreb, 1998.

2.5.2. UTJECAJ POLOŽAJA CENTRA TEŽIŠTA

Utjecaj položaja centra težišta (*engl. Center of Gravity – C.G.*), ovisno o fazi leta, na zrakoplov:

- prednji položaj C.G. povećava potrebnu brzinu polijetanja
- stražnji položaj C.G. smanjuje potrebnu duljinu USS-e za polijetanje
- stražnji položaj C.G. pozitivno djeluje na performanse zrakoplova u trenutku rotacije i polijetanja
- stražnji položaj C.G. dopušta veću masu pri polijetanju
- stražnji položaj C.G. povećava dolet zrakoplova
- stražnji položaj C.G. omogućava slijetanje manjom brzinom.

2.5.3. NARUŠAVANJE LETNIH ZNAČAJKI ZRAKOPLOVA

Prekoračenjem dopuštenih masa i lošim uravnoteženjem zrakoplova narušavaju se letne karakteristike zrakoplova. Kod preteškog zrakoplova pilot nije u mogućnosti izvesti polijetanje na zadanoj dužini uzletno sletne staze kao ni obaviti slijetanje.

Kod loše uravnoteženog zrakoplova, aerodinamički uređaji za upravljanje zrakoplovom djeluju otežano ili nikako, ovisno o kojem poremećaju stabilnosti se radi.

Pri izrazito velikim poremećajima uravnoteženja prednjeg ili stražnjeg dijela zrakoplova, nisu uporabljivi uređaji za upravljanje zrakoplovom na vodoravnim repnim površinama.

Posljedice loše uravnoteženog zrakoplova su:

- Povećanje potrošnje goriva
- Potencijalno oštećenje stajnog trapa zrakoplova
- Potencijalno oštećenje trupa zrakoplova
- Otežano polijetanje zrakoplova
- Otežano slijetanje zrakoplova.

2.6. DOKUMENTACIJA U PROCESIMA URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA ZRAKOPLOVA

Dokumenti koji su potrebni za izračunavanje uravnoteženja i opterećenja zrakoplova su:

- **Dokumentacija zračnog prijevoznika:**
 - **Engl. Station Operation Manual, Ground Operation Manual, Flight Operation Manual** su priručnici u kojima se određuju postupci i načini za proračunavanje opterećenja i uravnoteženja svih zrakoplova. Iz priručnika su vidljive mase i indeksi za svaki model zrakoplova, raspored sjedala unutar putničke kabine i sve što se pod time podrazumijeva.
 - **Ostali dokumenti** pod kojima se podrazumijevaju sva dopuštenja prijevoznika vezana za predmetni model zrakoplova, vrstu prometa, broj posade, količina goriva, ukrcanog tereta, hrane i pića.
- **Popis putnika / Putnički manifest** predstavlja poimenični popis putnika na letu s detaljima koji su potrebni prijevozniku za obračun i statistiku. Za potrebe uravnoteženja zrakoplova izdvaja se broj putnika prema uzrastu, spolu, razredu prijevoza. Putnički manifest izdaje osoba zadužena za nadgledanje registracije putnika na određeni let. Putnički manifest prikazan je na slici 4.

STANDARD FORM 245 (6/77) Prescribed by USDAFSM 5716 USDI MP9400-518		PASSENGER AND CARGO MANIFEST		NO. OF PASSENGERS ON THIS PAGE		PAGE ____ OF ____	
ORDERING UNIT		PROJECT NAME		PROJECT NO.			
NAME OF CARRIER		MODE OF TRANS & ID NO.		PILOT OR DRIVER			
CHIEF OF PARTY		REPORT TO:		IF DELAYED CONTACT			
DEPARTURE		INTERMEDIATE STOPS		DESTINATION			
PLACE	ETD	ETA	PLACE	ETD	ETA	PLACE	
PASSENGER AND/OR CARGO NAME		MF	PASSENGER WEIGHT	CARGO WEIGHT	DUTY ASSIGNMENT IF APPLICABLE		HOME UNIT
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							
16.							
17.							
18.							
19.							
20.							
21.							
22.							
SIGNATURE OF AUTHORIZED REPRESENTATIVE						DATE	
CHIEF OF PARTY COPY							

Slika 5. Robni manifest

Izvor: Međunarodna zračna luka Zagreb

- **Lista mase prtljage** je lista mase izvagane prtljage, koja se prevozi prema zrakoplovu, a izrađuje se u sortirnici. Na toj listi vidi se kategorizacija prtljage kao što je lokalna prtljaga, transferna prtljaga, priority te žurna (engl. *rush*) prtljaga.
- **Uputa ukrcaja/iskrcaja** s izvješćem ispostavlja se za svaki let u dolasku, odlasku ili provozu, a prikazana je na slici 6. Međunarodno udruženje zračnih prijevoznika određuje izgled obrasca, a svaki prijevoznik, prema tipu zrakoplova i svojim vlastitim potrebama i konfiguraciji zrakoplova određuje izgled izvješća. Uputa ukrcaja/iskrcaja treba sadržavati nacrt prtljažnih prostora zrakoplova, dio za uputu iskrcaja tereta, dio za uputu ukrcaja specijalnog tereta, dio za izvješće o stvarnom ukrcaju tereta i razlikom ukrcaja u odnosu na prvo, predviđeno stanje. Svaki podatak, koji ima utjecaj na uravnoteženje i opterećenje zrakoplova bitno je zabilježiti na listu uravnoteženja i opterećenja zrakoplova.

EMIRATES	Flight No.	REG.	DEP. DATE	JFK	ED NO PREPARED BY	PHONE	RADIO	TIME SENT	FWD	PAGE																											
	EK 202	A6EUF	06Feb17	DXB 2	BROWNING, PAUL	+97142181111	T8111	22:50	LOWER	1 OF 3																											
LOADING REPORT																																					
<div> <div> COMPARTMENT 1 Max 8520 Vent N/A / Temp N/A </div> <div> COMPARTMENT 2 Max 10205 Vent N/A / Temp N/A </div> </div> <table border="1"> <tr> <td>11</td> <td colspan="2">DXB PLA06916EK 255kg C.HUM /A</td> </tr> <tr> <td>12L</td> <td>DXB AKE90407EK 841kg BT3 39pc</td> <td>12R</td> <td>DXB AKE44173EK 881kg BT3 41pc</td> </tr> <tr> <td>13L</td> <td>DXB AKE44557EK 901kg BT3 42pc</td> <td>13R</td> <td rowspan="2">N</td> </tr> <tr> <td colspan="2">13P</td> <td colspan="2">N</td> </tr> <tr> <td>21L</td> <td>DXB AKE42321EK 495kg M</td> <td>21R</td> <td>DXB AKE47016EK 901kg BT3 42pc</td> </tr> <tr> <td>22L</td> <td>DXB AKE90487EK 580kg M</td> <td>22R</td> <td>DXB AKE90804EK 510kg M</td> </tr> <tr> <td>23L</td> <td>DXB AKE43551EK 520kg M</td> <td>23R</td> <td>DXB AKE47844EK 650kg M</td> </tr> </table> <div>DOOR</div>											11	DXB PLA06916EK 255kg C.HUM /A		12L	DXB AKE90407EK 841kg BT3 39pc	12R	DXB AKE44173EK 881kg BT3 41pc	13L	DXB AKE44557EK 901kg BT3 42pc	13R	N	13P		N		21L	DXB AKE42321EK 495kg M	21R	DXB AKE47016EK 901kg BT3 42pc	22L	DXB AKE90487EK 580kg M	22R	DXB AKE90804EK 510kg M	23L	DXB AKE43551EK 520kg M	23R	DXB AKE47844EK 650kg M
11	DXB PLA06916EK 255kg C.HUM /A																																				
12L	DXB AKE90407EK 841kg BT3 39pc	12R	DXB AKE44173EK 881kg BT3 41pc																																		
13L	DXB AKE44557EK 901kg BT3 42pc	13R	N																																		
13P		N																																			
21L	DXB AKE42321EK 495kg M	21R	DXB AKE47016EK 901kg BT3 42pc																																		
22L	DXB AKE90487EK 580kg M	22R	DXB AKE90804EK 510kg M																																		
23L	DXB AKE43551EK 520kg M	23R	DXB AKE47844EK 650kg M																																		
SPECIAL INSTRUCTIONS		STANDBY DEADLOAD / REMARKS																																			
NO BF OR BJ BAGGAGE TO BE LOADED IN THE BULK BULK TO BE USED ONLY FOR CREW BAGS AND HAND BAGGAGE		1 THIS AIRCRAFT HAS BEEN LOADED IN ACCORDANCE WITH THESE INSTRUCTIONS AND THE DEVIATIONS SHOWN ON THIS REPORT ALL ULD SKIDS AND BULK LOADS HAVE BEEN SECURED IN ACCORDANCE WITH THE COMPANY REGULATIONS. 2 TO CONFIRM THAT ALL RECORDED DATA ON THIS URF HAS BEEN COMMUNICATED TO THE LOAD CONTROLLER AND THIS URF EDITION NUMBER IS ANNOTATED ON THE FINAL LOADSHEET 1 STAFF NBR/SIGNATURE 2 DISPATCHER NBR/SIGNATURE																																			

Slika 6. Uputa ukrcaja / iskrcaja

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

• **Podaci o gorivu** sačinjeni su od sljedećih elemenata:

- *Engl. Block Fuel* predstavlja ukupno točeno gorivo u zrakoplov
- *Engl. Taxi Fuel* je količina goriva potrebna za pokretanje motora i rulanje od stajanke do uzletno sletne staze
- *Engl. Take-off Fuel* je količina goriva koju zrakoplov ima prije početka polijetanja
- *Engl. Trip Fuel* predstavlja potrošeno gorivo za predviđeni put.

- [illegible]

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

- 19

3. RAZLIKE U PLANIRANJU URAVNOTEŽENJA USKOTRUPNIH I ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA

Poslovi vezani s masama i uravnoteženjem zrakoplova, predstavljaju skup poslova koji moraju ispuniti sljedeće uvjete:

- Težište i uravnoteženje zrakoplova moraju biti unutar odobrenih granica
- Zrakoplov mora biti ukrcao prema prijevoznikovim uputama
- Lista opterećenja mora biti usklađena sa stvarno ukrcajnim teretom, putnicima i gorivom.¹⁶

Prilikom planiranja ukrcaja zrakoplova potrebno je:

- Prikupiti sve podatke o teretu na zrakoplovu, uključujući dolazni, odlazni i provozni teret.
- Planirati ukrcaj zrakoplova na način da ne budu prekoračene granice opterećenja zrakoplova, pojedinih ukrcaja prtljažnih prostora i da uravnoteženje bude unutar dopuštenih granica.
- Planirati ukrcaj posebnog tereta prema naročitim zahtjevima zrakoplovnih prijevoznika, dopuštenim količinama, potrebnim razdvajanjima, uz to voditi računa o međusobnim kompatibilnostima tereta.
- Zbog smanjenja potrošnje goriva, bilo bi poželjno planirati uravnoteženje zrakoplova u idealnom području.

U nastavku će se razmatrati razlike u planiranju uravnoteženja i opterećenja za zrakoplov Airbus 319 (A319) koji je uskotrupni zrakoplov zračnog prijevoznika Croatia Airlines te Boeing 777 (B777), širokotrupnog zrakoplova zračnog prijevoznika Emirates.

3.1. PLANIRANJE URAVNOTEŽENJA USKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA

U ovom dijelu promatran je zrakoplov Croatia Airlines, A319, koji svakodnevno više puta slijeće na Međunarodnu zračnu luku Franjo Tuđman. Planirano je uravnoteženje istog prema svim pravilima i procedurama kao što se radi svakodnevno na Međunarodnoj zračnoj luci Franjo Tuđman.

¹⁶ Jirasek, D.: Težine i uravnoteženje zrakoplova, Zračna luka Zagreb, Zagreb, 1998.

3.1.1. UTOVAR ZRAKOPLOVA A319

Prvo što je potrebno prilikom planiranja uravnoteženja zrakoplova, odnosno pri izradi liste uravnoteženja i opterećenja, je pravilno, prema propisima i zahtjevima operatora zrakoplova isplanirati utovar, odnosno osmisлити kako utovariti teret u prtljažne prostore zrakoplova, a da se osigura sigurno odvijanje leta.

Kod planiranja utovara treba:

- Prikupiti sve podatke o teretu na zrakoplovu
- Planirati ukrcaj zrakoplova do propisanih maksimalnih granica opterećenja i uravnoteženja
- Planirati ukrcaj posebnog tereta prema zahtjevima kompanija, dopuštenim količinama, potrebnim razdvajanjima te voditi računa o međusobnim netrpeljivostima tereta.

Za svaki let izrađuje se uputa iskrcaja/ukrcaja s izvješćem (*engl. Loading Instruction Report, LIR*). Međunarodno udruženje zračnih prijevoznika (*engl. International Air Transport Association, IATA*) je propisala izgled obrasca, a svaki prijevoznik u svojem *Ground Operations Manual-u* i *Aircraft Handling Manual-u* određuje izgled utovarne liste te zahtjeve koje je potrebno ispuniti prilikom planiranja utovara te samog utovara. U navedenim priručnicima propisuju se težinska i volumna ograničenja vezana za prtljagu i teret koji se prima na let kao i maksimalna dopuštena podna nosivost po jedinici površine.

Uputa ukrcaja/iskrcaja treba sadržavati:

- Osnovne informacije o letu
- Nacrt prtljažnih prostora zrakoplova
- Dio za uputu iskrcaja tereta
- Dio za uputu ukrcaja tereta s mogućnošću posebnih zahtjeva
- Dio za izvješće o stvarnom ukrcaju tereta i razlikom ukrcaja u odnosu na prvo predviđeno stanje.

Osim rasporeda tereta po prtljažnim odjeljcima, na uputi za ukrcaj/iskrcaj, nalaze se i podaci o destinaciji, što je posebno važno ako postoji više destinacija na određenom letu, te o putnicima i njihovoj prtljazi, teretu i pošti, čija se masa upisuje na LIR.

Količina prtljage koja se prevozi zrakoplovom Croatia Airlines A319 uveliko je manja od količine prtljage koja se može prevesti zrakoplovom Emirates B777. Ako je zrakoplov A319 pun i ako je količina robe, pošte i prtljage predviđene za let velika, potrebno je prvo izračunati koliko je, težinski ili volumenski, moguće primiti tereta na prijevoz, s obzirom na to da možda težinski sve stane u zrakoplov, ali ne i volumenski

te obrnuto. Pri tome treba voditi računa o zahtjevima operatora zrakoplova kao i o prioritetima utovara koje određuje sam operator zrakoplova.

U zrakoplovu A319 nalaze se tri prtljažna odjeljka. U tablici 1. prikazane su nosivosti pojedinih prtljažnih odjeljaka, dok slika 9. prikazuje uputu ukrcaja/ukrcaja za zrakoplov A319 Croatia Airlines.

Tablica 1. Specifičnosti teretnih odjeljaka za zrakoplov Croatia Airlines A319

PRTLJAŽNIK	ODJELJAK	BRUTO MASA [kg]	VOLUMEN [m ³]
1	11	1.045	4,09
	12	1.223	4,42
4	41	1.326	5,23
	42	1.695	6,60
5	51	1.497	7,22

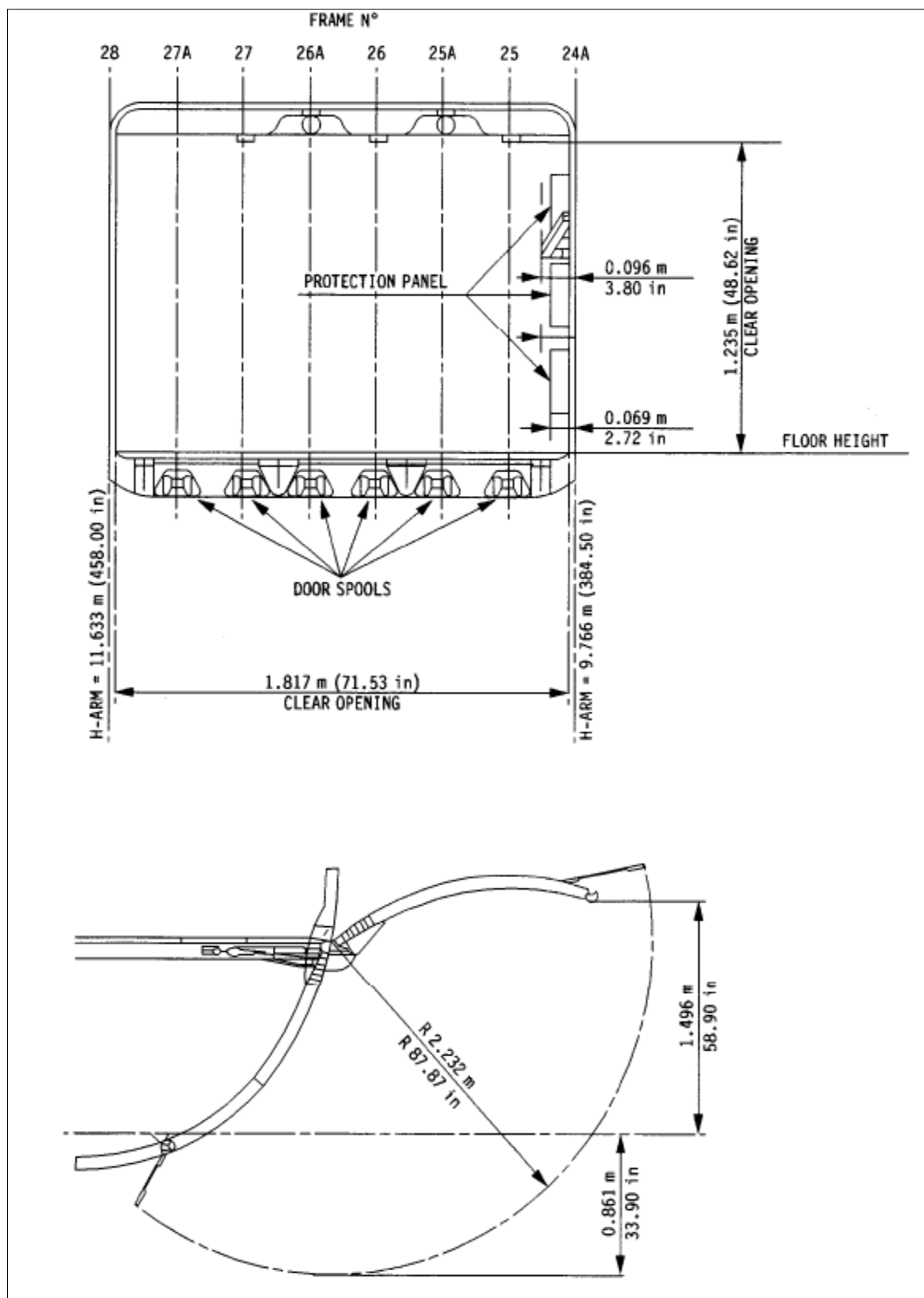
Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling manual A319, 2015.

CROATIA AIRLINES				Loading instructions A319 Passenger Version																	
Station	Flight No.	Destination	A/C Reg.	STD (T/T)	Planner's Signature/ Desk Phone	Date															
	OU																				
COMPARTMENT		5	4	CABIN		1															
OFF at this station ▶																					
TRANSIT ▷																					
BAGGAGE-ID: <input type="text"/>																					
51 (1497kg) 		42 (1695kg) 		41 (326kg) 		12 (1223kg) 															
11 (1045kg) 																					
Special instructions <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTIMATES</th> <th>PAX</th> <th>BAG(Pcs.)</th> <th>CARGO</th> <th>MAIL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dest.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				ESTIMATES	PAX	BAG(Pcs.)	CARGO	MAIL	Dest.										This aircraft has been loaded in accordance with these instructions including the deviations recorded. The load has been secured in accordance with company regulations. Loading Supervisor or Person Responsible for Loading		
ESTIMATES	PAX	BAG(Pcs.)	CARGO	MAIL																	
Dest.																					
OB-ZOU-006/0 od 15.05.2005.																					
A REGIONAL STAR ALLIANCE MEMBER																					

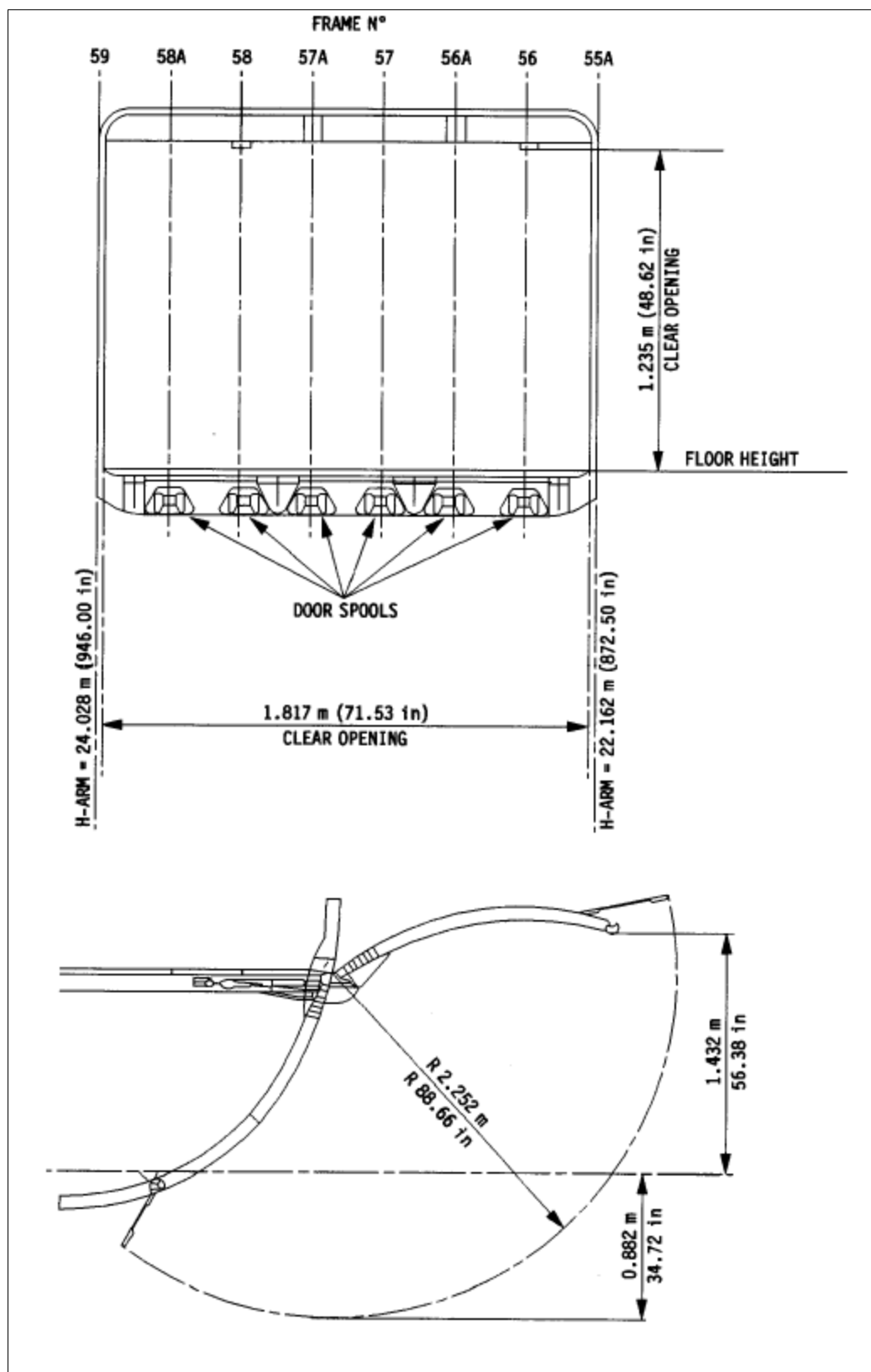
Slika 9. Uputa ukrcaja/iskrcaja za zrakoplov Croatia Airlines A319

Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual, 2015.

Osim težinski, utovar zrakoplova A319 ograničen je i volumno, što se najbolje vidi iz slike 10. koja prikazuje dimenzije vrata prednjeg teretnog odjeljka, odnosno slike 11. koja prikazuje vrata stražnjeg teretnog odjeljka.

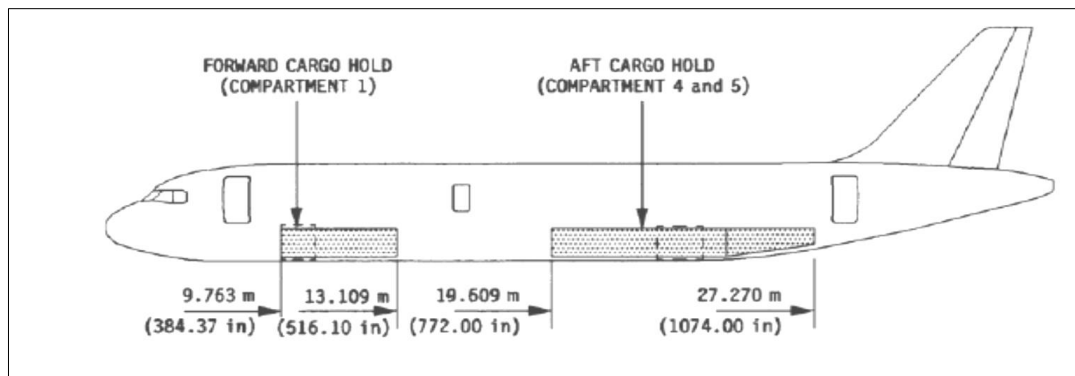


Slika 10. Dimenzije vrata prednjeg teretnog odjeljka zrakoplova Croatia Airlines A319
Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual, 2015.



Slika 11. Dimenzije vrata stražnjeg teretnog odjeljka zrakoplova Croatia Airlines A319
Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual, 2015.

Za bolji prikaz i razumijevanje karakteristika zrakoplova A319, vezanih za veličinu prtljažnih odjeljaka i dimenzija vrata, poslužiti će slika 12.



Slika 12. Prtljažni odjeljci zrakoplova A319 Croatia Airlines
Izvor: Croatia Airlines, Ground Operations Manual, 2015.

Svaki zračni prijevoznik određuje na koji će način utovarivati i istovarivati teret poštujući pravila za redoslijed kojim se redom teret treba izdavati na odredišnoj zračnoj luci ili zračnoj luci međuslijetanja. Također, svaki zračni prijevoznik mora uzeti u obzir specijalne kategorije tereta, te da li se teret mora razdvajati zbog njegovih karakteristika od ostalih kategorija tereta.

Zračni prijevoznici, kao što su Croatia Airlines, propisuju u svojim priručnicima na koji način se utovaruju zrakoplovi. Činjenica je da se na letovima Croatia Airlines rjeđe pojavljuju specijalne vrste tereta koje zahtijevaju posebno rukovanje i razdvajanje unutar zrakoplova.

Teret s kojim se svakodnevno susreće zračni prijevoznik Croatia Airlines je: prtljaga putnika, u kojoj se razlikuje prtljaga posade, prtljaga transfernih putnika, prtljaga poslovnih putnika, prtljaga putnika ekonomske klase, *standby* putnika, velika prtljaga putnika, npr. daska za surfanje; pošta; specijalne kategorije prtljage kao što su žive životinje, lakopokvarljiva roba, teški teret, ljudski organi, itd.

Redoslijed utovara tereta na zrakoplovima Croatia Airlines:

1. Prtljaga posade
2. Oprema za zrakoplove, ljudski organi, krv, lijekovi
3. Pošta zračnih prijevoznika, oprema cateringa, vrijednosna roba
4. Prtljaga putnika
 - prtljaga ekonomskih putnika – prva se utovaruje, zadnja istovaruje
 - prioritarna prtljaga – istovaruje se nakon ekonomske prtljage jer ima prioritet nad ekonomskom prtljagom prilikom istovara
 - transferna prtljaga – zadnja se utovaruje, a prva istovaruje kako bi se stigla prebaciti na druge zrakoplove

5. Žive životinje, lakopokvarljiva roba, radioaktivni materijali i sav ostali teret.¹⁷

3.1.2. PUTNICI I POSADA

Druga stavka kod planiranja uravnoteženja, nakon planiranja utovara tereta, pošte i prtljage, je uzimanje u obzir mase putnika, posade i njihove ručne prtljage. Ovisno o konfiguraciji zrakoplova, na zrakoplov se može ukrcati određeni broj putnika čija se stvarna masa razlikuje od standardne mase koja se uzima pri izradi liste uravnoteženja i opterećenja. Broj putnika vrlo je važan čimbenik za početak uravnoteženja zrakoplova. Usvojene su standardne mase putnika za određene zrakoplove kako bi se postupak pojednostavio. Masa ručne prtljage koju putnik unosi sa sobom u putničku kabinu također je dodana u masu putnika.

Na zrakoplov A319, Croatia Airlines, mogu se ukrcati maksimalno sto četrdeset i četiri putnika. Mase koje se uzimaju pri izradi liste uravnoteženja i opterećenja prikazane su u tablici 2. Ovisno o popunjenosti zrakoplova, određuje se gdje se putnici smiju smjestiti, odnosno ukoliko zrakoplov nije pun, blokira se određeni dio zrakoplova zbog planiranja uravnoteženja zrakoplova.

Tablica 2. Standardne mase putnika

	Masa [kg]
Muškarci	88
Žene	70
Djeca	35
Bebe	0

Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling manual A319, 2015.

Kako bi izračun položaja težišta zrakoplova bio lakši i brži, uzima se također i standardna masa posade koja je vidljiva u tablici 3. Postoji razlika između pilotskog osoblja (cockpit) i kabinskog osoblja. I u ovom slučaju također je uključena ručna prtljaga koja se unosi u kabinu zrakoplova. Masa prtljage iznosi 11 kg za sve članove posade.

Tablica 3. Standardne mase posade

	Masa [kg]
Osoblje u cockpit-u	96
Kabinsko osoblje	86
Dodatno osoblje	86

Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual A319, 2015.

¹⁷ Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual, 2015.

3.1.3. MASE ZRAKOPLOVA

Nakon putnika, posade, prtljage, tereta i pošte, u obzir se mora uzeti i gorivo kojim se opskrbljuje zrakoplov za let.

Razlikuju se sljedeće vrste goriva:

- Gorivo prije leta u rezervoarima
- Gorivo za polijetanje
- Gorivo za taksiranje
- Gorivo predviđeno za let
- Dodatno gorivo za let (gorivo za *holding* i gorivo za alternativni aerodrom)
- Gorivo za slijetanje
- Gorivo nakon leta u rezervoarima.

Kada se skupe sve potrebne informacije, kreće se u izradu liste uravnoteženja i opterećenja zrakoplova uzimajući u obzir mase koje su već unaprijed izračunate, kao što su suha operativna masa, prikazana u tablici 4., kao i mase prikazane u tablici 5., ovisno o registraciji zrakoplova.

Tablica 4. Suha operativna masa

POSADA	SUHA OPERATIVNA MASA [kg]
2+0	40.940
3+0	41.036
4+0	41.132
2+3	41.705
2+4	41.791
3+3	41.801
2+5	41.877
3+4	41.887
3+5	41.973
4+4	41.983
4+5	42.069

Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual A319, 2015.

Tablica 5. Mase zrakoplova s obzirom na registraciju zrakoplova

Registracija zrakoplova	Predviđena masa zrakoplova sa gorivom za rulanje [kg]	Predviđena masa zrakoplova sa gorivom za polijetanje [kg]	Predviđena masa zrakoplova bez goriva [kg]	Predviđena masa zrakoplova sa gorivom za slijetanje [kg]
9A-CTG	64.400	64.000	57.000	61.000
9A-CTH	64.400	64.000	57.000	61.000
9A-CTI	64.400	64.000	57.000	61.000
91-CTL	64.400	64.000	57.000	61.000

Izvor: Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual A319, 2015.

3.2. PLANIRANJE URAVNOTEŽENJA ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA

Emirates je zračni prijevoznik koji redovito posluje na Međunarodnoj zračnoj luci Franjo Tuđman od 2017. godine te jedan od rijetkih zračnih prijevoznika koji na svojim linijama, povezanima sa Zagrebom, koristi širokotrupne zrakoplove, što je sa strateškog aspekta vrlo važno za Međunarodnu zračnu luku Franjo Tuđman. U radu se primjenjuju pravila i procedure koje se svakodnevno koriste za zrakoplove zračnog prijevoznika Emirates na Međunarodnoj zračnoj luci Franjo Tuđman.

3.2.1. UTOVAR ZRAKOPLOVA B777

Razlika između planiranja utovara za zrakoplove Croatia Airlines A319 i zrakoplove Emirates B777 je ta što se zrakoplovi A319 utovaruju komadno, dok se širokotrupni zrakoplovi B777 utovaruju ULD-ovima (*engl. Unit Load Device*). Prtljaga se slaže u/na ULD jedinice, nakon čega se na istima utovaruje u zrakoplov, u većem dijelu, dok se jedan dio utovaruje kao komadna prtljaga.

ULD jedinice dijele se na certificirane i necertificirane palete ili kontejnere standardnih veličina i oznaka koji se koriste za utovar prtljage, tereta i pošte na širokotrupne zrakoplove. ULD jedinice omogućuju slaganje prtljage na palete ili u kontejnere što uveliko smanjuje vrijeme utovara zrakoplova.

Razlika između certificiranih i necertificiranih ULD-ova je ta što se certificirani ULD-ovi mogu utovariti i pričvrstiti za pod na svakom modelu zrakoplova, dok se necertificirani ULD-ovi ne mogu pričvrstiti za pod zrakoplova.

Palete su napravljene od metalnog dna koji se pričvršćuje na pod zrakoplova, na metalni dio pričvršćuju se mreže koje zaštićuju teret. Visina paleta koje se utovaruju na zrakoplove zračnog prijevoznika Emirates ograničene su na 157,48 centimetara, odnosno 62 inča.

Prednosti u korištenju paleta:

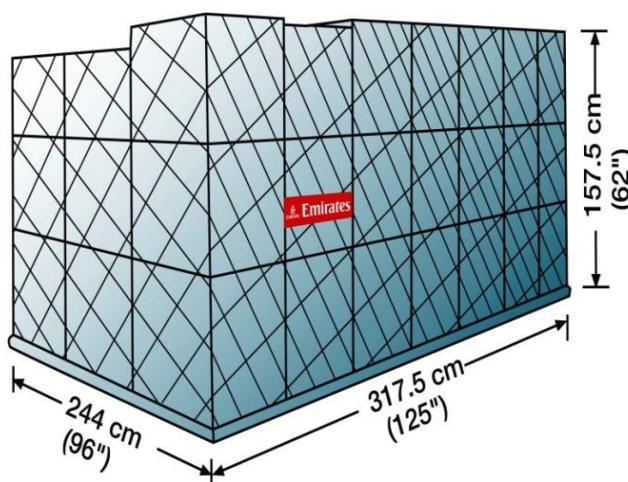
- Pogodne su za prijevoz tereta koji ne stane u kontejnere
- Pogodne za prijevoz specijalnog tereta kao što su npr. žive životinje
- Teret je osiguran samo mrežom koja je pričvršćena za metalnu podlogu.

Tablica 6. Specifičnosti ULD paleta

Vrste paleta	Dimenzije paleta	Tara mase	Visina
PAG,PAJ	125" X 88" ili 318 cm X 223 cm	120 kg / 264 lb	62"
PMC	125" X 96" ili 318 cm X 244 cm	120 kg / 264 lb	
PLA	125" X 60.4" ili 317,5 cm X 153,4 cm	84 kg / 185 lb	
PKC	61,5" X 60,4" ili 156,2 cm X 153.4 cm	30 kg / 66 lb	

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

Tablica 6. prikazuje vrste paleta, njihove dimenzije i tara mase, a slika 13. prikazuje paletu vrste PLA, koja se koristi na zrakoplovima zračnog prijevoznika Emirates.



Slika 13. Paleta vrste PLA

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

Kontejneri su izrađeni od aluminija i polikarbonata, a služe za pohranu prtljage, pošte i tereta radi lakšeg utovara u zrakoplova i rukovanja.

Prednosti pri korištenju kontejnera:

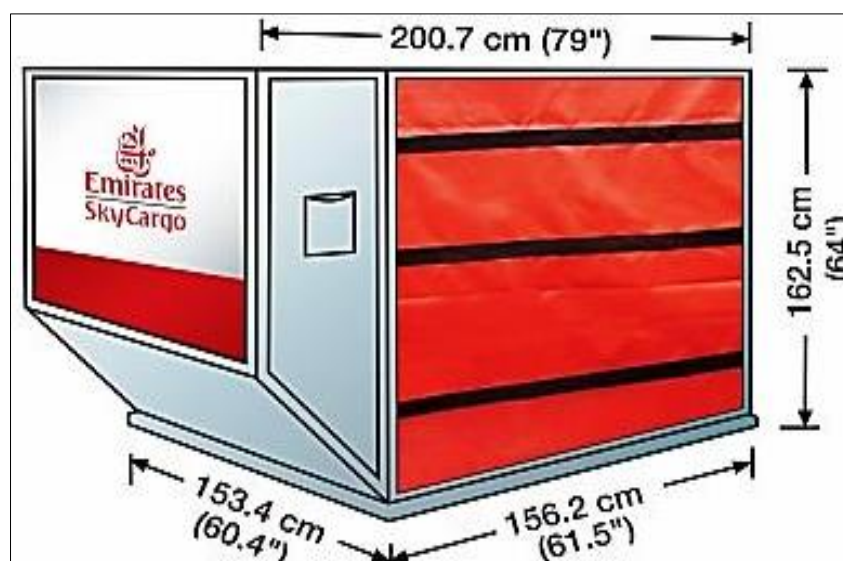
- Brži utovar i istovar prtljage, tereta i pošte
- Očuvanje tereta od nepogodnih vremenskih uvjeta
- Očuvanje tereta od mogućnosti oštećenja
- Lakše rukovanje teretom u slučaju prebacivanja transferne prtljage na druge zrakoplove.

Tablica 7. Specifičnosti ULD kontejnera

Vrste paleta	Dimenzije paleta	Tara mase	Visina
AMF	125" X 96" ili 317,5 cm X 243,8 cm	275 kg / 606 lb	64"
AMP	125" X 96" ili 317,5 cm X 243,8 cm	242 kg / 534 lb	
ALF	125" X 60,4" ili 317,5 cm X 153,4 cm	160 kg / 353 lb	
AKL	61,5" X 60,4" ili 156,2 cm X 153,4 cm	56 kg / 123 lb	
AKE	61,5" X 60,4" ili 156,2 cm X 153,4 cm	80 kg / 176 lb	

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

Tablica 7. prikazuje vrste kontejnera, njihove dimenzije i tara mase, dok slike u nastavku (14, 15, 16, 17 i 18) prikazuju vrste kontejnera koje se koriste na letovima zračnog prijevoznika Emirates.



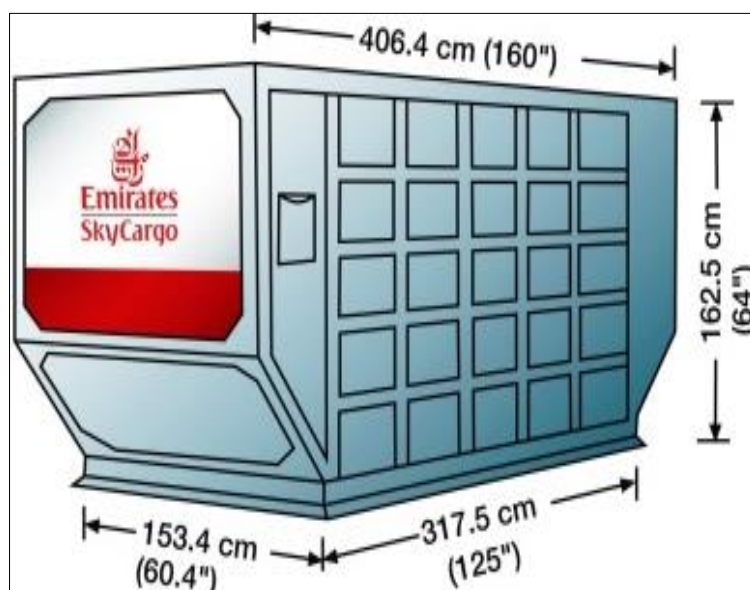
Slika 14. Kontejner vrste AKE

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



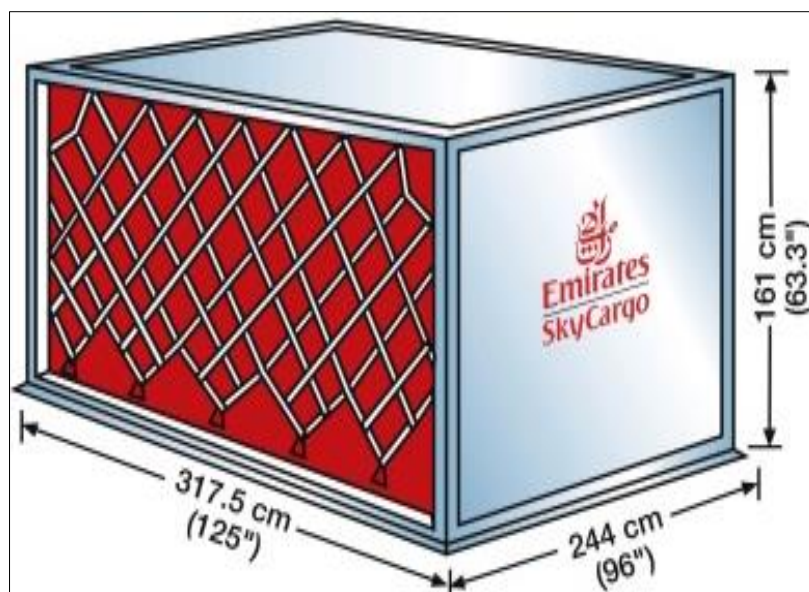
Slika 15. Kontejner vrste AKL

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



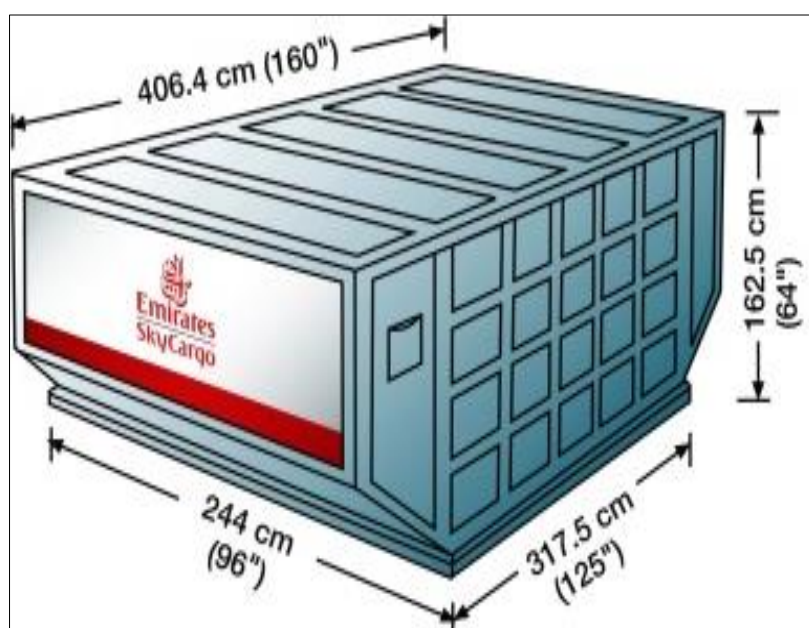
Slika 16. Kontejner vrste ALF

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



Slika 17. Kontejner vrste AMP

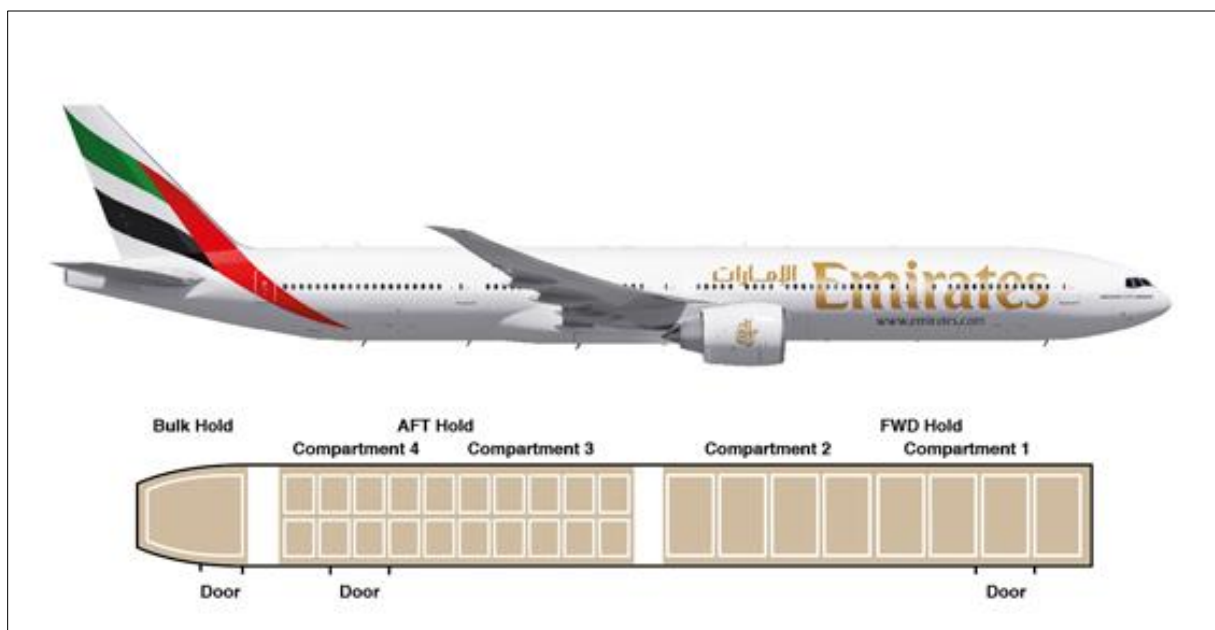
Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



Slika 18. Kontejner vrste AMF

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.


Slika 19. prikazuje jedan od načina razmještanja kontejnera, paleta i komadne prtljage na zrakoplove B777 zračnog prijevoznika Emirates.



Slika 19. Razmještaj kontejnera, paleta i komadne prtljage na zrakoplov B777

Izvor: URL: <http://www.skycargo.com/english/about-us/our-fleet/?plane=4>
(pristupljeno: svibanj 2018.)

Svaki ULD treba biti označen odgovarajućom naljepnicom, prikazanom na slici 20., koja odgovara podacima o sadržaju kontejnera ili palete. Na njih se upisuju podaci o teretu, pošti, prtljazi kao što su vrsta tereta, broj kontejnera, broj prtljažnih privjesaka prtljage koja se prevozi, polazni aerodrom, destinacija, broj leta, masa tereta,...



Baggage container no.:

Loaded at	Flight/Date	Volume code
Position on a/c	Number of pieces	Weight*
Topped up at	Number of pieces	Weight*
Position on a/c	Volume code	Total weight*
Topped up at	Number of pieces	Weight*
Position on a/c	Volume code	Total weight*

*Including container tare weight

	B	Local Economy Class baggage
	F/J	First/Business Class baggage
	T	Transfer baggage [Emirates to other airline]
	D	DH/Crew baggage
	COU	Courier mail [As baggage only]

Please cross (X) applicable box

Slika 20. ULD naljepnica

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

Za razliku od zrakoplova Croatia Airlines, A319, zrakoplov Emirates, B777, ima mogućnost primanja veće količine tereta zbog težinskih i volumenskih kapaciteta. Iz toga proizlazi da prednji prtljažni prostor, prikazan na slici 21., B777 može prihvatiti 30.617 kilograma tereta, dok stražnji prtljažni prostor, prikazan na slici 22., može prihvatiti 22.226 kilograma. Prtljažnik zrakoplova B777 za komadnu prtljagu, prikazan na slici 23., može prihvatiti 4.082 kilograma tereta.



Slika 21. Prednji prtljažni prostor zrakoplova B777

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



Slika 22. Stražnji prtljažni prostor zrakoplova B777

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



Slika 23. Prtljažnik za komadnu prtljagu zrakoplova B777

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual , revision nr. 10, ožujak 2018.

Osim putničkog prijevoza, dolaskom zračnog prijevoznika Emirates, povećao se i teretni promet koji do sada na Međunarodnoj luci Franjo Tuđman u Zagrebu, nije imao većeg porasta, štoviše već desetak godina je u stagnaciji ili padu.

Redoslijed utovara tereta na zrakoplovima Emirates bolje je opisan od redoslijeda Croatia Airlines iz razloga što je povećan i teretni promet, a prema tome prevozi se i drugačiji teret od onoga što se susreće na zrakoplovima Croatia Airlines. U slučajevima kada su zrakoplovi prijevoznika Emirates puni, dogodi se da određeni teret i prtljaga moraju ostati na zračnoj luci, pri čemu pomaže propisani redoslijed po kojem se utovaruju zrakoplovi, odnosno utovar prema prioritetu.

Redoslijed utovara tereta na zrakoplovima Emirates:

1. Rezervni dijelovi zrakoplova
2. Emirates kompanijska pošta
3. Ljudski organi, krv, diplomatska pošta, pošta, novine
4. Prtljaga posade
5. Žive životinje
6. Pošta, prtljaga putnika
7. Prtljaga posade koja ne radi na tom zrakoplovu
8. Preostali teret
9. Kompanijski materijal
10. Prazne poštanske vreće.¹⁸

¹⁸ Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.

3.2.2. PUTNICI I POSADA

Usvojene su standardne mase putnika za određene zrakoplove i vrste leta kako bi se postupak pojednostavio. Masa ručne prtljage koju putnik unosi sa sobom u putničku kabinu također je dodana u masu putnika. U tablici 8. prikazane su standardne mase putnika za zračnog prijevoznika Emirates. Iz tablice se da zaključiti da se standardne mase putnika zračnog prijevoznika Emirates razlikuju od zračnog prijevoznika Croatia Airlines.

Tablica 8. Standardne mase putnika

	Masa [kg]
Muškarci	85
Žene	70
Djeca	38
Bebe	10

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual B777, revision nr. 10, ožujak 2018.

Za razliku od Croatia Airlines, mase posade se dijele na masu posade koja ima ručnu prtljagu i masu posade koja nema ručnu prtljagu. Razliku u masama moguće je vidjeti u tablici 9.

Tablica 9. Standardne mase posade

	Masa [kg]
Masa posade koja ima ručnu prtljagu	100
Masa posade koja nema ručnu prtljagu	85

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual B777, revision nr. 10, ožujak 2018.

3.2.3. MASE ZRAKOPLOVA

Prilikom izrade liste uravnoteženja i opterećenja, osim razlika u masama prtljage, tereta i pošte, razlike u standardnim masama putnika i posade, uveliko se razlikuju i mase goriva koje se koristi za let.

Kao i kod uravnoteženja uskotrupnih zrakoplova razlikuju se sljedeće vrste goriva:

- Gorivo prije leta u rezervoarima
- Gorivo za polijetanje
- Gorivo za taksiranje
- Gorivo predviđeno za let
- Dodatno gorivo za let (gorivo za *holding* i gorivo za alternativni aerodrom)

- Gorivo za slijetanje
- Gorivo nakon leta u rezervoarima.

Razlika je u tome što se za kratke relacije koristi puno manje goriva nego za duže relacije kao što je Zagreb – Dubai te se time povećava i ukupna masa zrakoplova koja je jako bitna za izradu liste uravnoteženja i opterećenja zrakoplova.

3.3. RAZLIKE U PLANIRANJU URAVNOTEŽENJA USKOTRUPNIH I ŠIROKOTRUPNIH ZRAKOPLOVA

Za primjer će se, kao i do sada, koristiti podaci za zrakoplov Croatia Airlines-a, A319, i podaci za zrakoplov Emirates-a, B777. Podaci su dobiveni istraživanjem i praćenjem zračnih prijevoznika na Međunarodnoj zračnoj luci Franjo Tuđman.

Velike su razlike između prihvata i otpreme zrakoplova A319 i zrakoplova B777, ali prije nego će iste biti objašnjene, u nastavku se nalazi tablica 10. koja prikazuje općenito razlike između procesa opsluživanja dvaju zračnih prijevoznika kao što su Croatia Airlines i Emirates.

Tablica 10. Razlike između opsluživanja A319 i B777

	Emirates	Croatia Airlines
Klase u putničkoj kabini	prva, poslovna, ekonomska	poslovna, ekonomska
Vrijeme otvaranja check in šaltera	3.30h prije leta	2 h prije leta
Vrijeme početka ukrcaja putnika u zrakoplov	1 h prije leta	30 - 40 min prije leta
Vrijeme potrebno za prihvata i otpremu zrakoplova	2 sata	25 - 40 minuta
Roba i teret koji se prihvaćaju na let	komadna prtljaga, palete, kontejneri	komadna prtljaga
Oprema za prihvata i otpremu zrakoplova	raznolika	jednostavna
Mogućnost punjenja goriva istovremeno s ukrcajem putnika u zrakoplov	da	ne

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

U nastavku se nalaze primjeri planiranja uravnoteženja za zrakoplov A319, Croatia Airlines-a, i B777, Emirates-a. Za primjer uravnoteženja A319 uzet je let Zagreb – Paris, OU470, 27. ožujka 2018.; dok je za primjer uravnoteženja B777 uzet let Zagreb – Dubai, EK130, 16. ožujka 2018.; zbog sličnosti broja putnika i prtljage na letu.

Let Croatia Airlines-a, OU470, na relaciji Zagreb – Paris, 27. ožujka 2018., imao je ukupno 138 putnika, od čega je bilo 66 muškaraca, 70 žena te 2 djece, što je prikazano na slici 24. Ukupna masa prtljage utovarene u zrakoplov bila je 2.876

kilograma, od čega je u teretni odjeljak 1 utovareno 510 kilograma, u teretni odjeljak 2, 1.666 kilograma te u teretni odjeljak 3, 700 kilograma, što se vidi iz slike 25.

LOADSHEET ALL WEIGHTS IN KILOS		CHECKED KLARIC. ROBERT. WB		APPROVED		EDNO 01	
FROM/TO FLIGHT ZAG CDG OU0470	A/C-REG 9ACTG	VERSION C12M126	CREW 2/5	DATE 27MAR18	TIME 1103		
LOAD IN COMPARTMENTS	WEIGHT 2876	DISTRIBUTION 1/510 4/1666 5/700					
PASSENGER/CABIN BAG 10778 66/ 70/ 2/ 0 TTL 138 CAB							
PAX 0/ 12/126 SOC BLKD							

Slika 24. Prtljaga i putnici na letu Croatia Airlines OU470
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

CROATIA AIRLINES					Loading Instructions A319 Passenger Version	
Station ZAG	Flight No OU470	Destination CDG	A/C Reg. 9A-CTG	STD (T/T) 1103	Pilots Signature	Date 27MAR18
COMPARTMENT	5		CABIN		1	
OFF at this station	/		/		/	
TRANSIT	/		/		/	
BAGGAGE ID: []						
51 (1487kg)		42 (1193kg)		41 (825kg)		
700		- 1666		510		
Special Instructions ESTIMATES Dest CDG PAX 138 BAGS 2876 CARGO MAIL This aircraft has been loaded in accordance with these instructions including the deviations requested. The load has been secured in accordance with company regulations. Loading Supervisor or Person Responsible for Loading						

Slika 25. Utovarna lista za let Croatia Airlines OU470
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Konfiguracija zrakoplova registracije 9A-CTG je 12/126, odnosno ukupno je 12 sjedala u poslovnoj klasi te 126 sjedala u ekonomskoj klasi, a u danom primjeru zrakoplov je bio skroz popunjen. Posada je bila 2/5, što znači da je 5 kabinskog osoblja i 2 člana posade u cockpitu.

Na zrakoplov je ukupno utovareno 13.654 kilograma. Suha operativna masa iznosila je 41.877 kilogram, stvarna masa zrakoplova bez goriva iznosila je 55.531 kilograma, dok maksimalna masa smije iznositi 57.000 kilograma. Gorivo pri polijetanju iznosilo je 7.300 kilograma, stvarna masa zrakoplova pri polijetanju iznosila je 62.831 kilogram, dok je maksimalna dozvoljena masa 64.000 kilograma. Gorivo za let iznosilo je 4.100 kilograma, stvarna masa zrakoplova pri slijetanju iznosila je 58.731 kilogram, dok maksimalna masa smije iznositi 61.000 kilograma, što se vidi iz slike 26.

TOTAL TRAFFIC LOAD	13654				
DRY OPERATING WEIGHT	41877				
ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL	55531	MAX	57000	ADJ	
TAKE OFF FUEL	7300				
TAKE OFF WEIGHT ACTUAL	62831	MAX	64000	L ADJ	
TRIP FUEL	4100				
LANDING WEIGHT ACTUAL	58731	MAX	61000	ADJ	

Slika 26. Mase na letu Croatia Airlines OU470
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Iz slike 27., pomoću podataka sa slike koji prikazuju završne indekse pri izradi liste uravnoteženja i opterećenja, može se zaključiti da je zrakoplov bio pravilno uravnotežen i da je centar težišta bio unutar dozvoljenih granica. Cijela računalno izrađena lista uravnoteženja i opterećenja za let Croatia Airlines-a, OU470 prikazana je na slici 28.

BALANCE AND SEATING CONDITIONS	LAST MINUTE CHANGES
DOI 46.9 LIZFW 67.2	DEST SPEC CL/CPT WEIGHT/IND
LITOW 65.0 LILAW 68.7	
MACZFW 32.4 MACTOW 30.7	
MACLAW 32.5	
STAB TD 0.1 NOSE DOWN	
A60.878.	
CABIN AREA TRIM	

Slika 27. Završni pregled rezultata uravnoteženja i opterećenja na letu Croatia Airlines OU470
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

L O A D S H E E T		CHECKED		APPROVED		EDNO	
ALL WEIGHTS IN KILOS		KLARIC.ROBERT.WB				01	

FROM/TO FLIGHT	A/C-REG	VERSION	CREW	DATE	TIME
ZAG CDG OU0470	9ACTG	C12M126	2/5	27MAR18	1103

LOAD IN COMPARTMENTS	WEIGHT	DISTRIBUTION
	2876	1/510 4/1666 5/700

PASSENGER/CABIN BAG	10778	66/70/	2/	0	TTL 138	CAB
	PAX	0/	12/126	SOC		BLKD


```

*****
TOTAL TRAFFIC LOAD          13654
DRY OPERATING WEIGHT        41877
ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL     55531    MAX 57000    ADJ
TAKE OFF FUEL                7300
TAKE OFF WEIGHT ACTUAL      62831    MAX 64000 L  ADJ
TRIP FUEL                    4100
LANDING WEIGHT ACTUAL       58731    MAX 61000    ADJ

BALANCE AND SEATING CONDITIONS          LAST MINUTE CHANGES
DOI 46.9  LIZFW 67.2                    DEST SPEC  CL/CPT  WEIGHT/IND
LITOW 65.0  LILAW 68.7
MACZFW 32.4  MACTOW 30.7
MACLAW 32.5
STAB TO  0.1 NOSE DOWN
A60.B78.
CABIN AREA TRIM

UNDERLOAD BEFORE LMC    1169                    LMC TOTAL
*****
LOADMESSAGE AND CAPTAINS INFORMATION BEFORE LMC

-CDG.66/70/2/0.T2876.1/510.4/1666.5/700.PAX/0/12/126.PAD/0/0/0
SI
PAX WEIGHTS USED          M 88 F 70 C 35 I  0
DOW ADJ WGT/IND
ADDITIONS
NIL
DEDUCTIONS
NIL
PANTRY CODE 0
NOTOC NO
CDG  C      400 M      110 B      0/  2366  0      0  T      0
END LOADSHEET EDNO 01  OU0470  27MAR18 110333

```

Slika 28. Lista uravnoteženja i opterećenja za let Croatia Airlines OU470
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Kao što je već navedeno ranije, zrakoplov Emirates-a, leti na relaciji Zagreb – Dubai, svaki dan tijekom ljetne sezone te pet dana u tjednu tijekom zimske sezone. Na zrakoplov, ovisno o vrsti zrakoplova, može se utovariti puno više tereta, pošte i prtljage, kao što se može prevesti i puno više putnika u odnosu na ostale zrakoplove koji polijeću i slijeću sa Međunarodne zračne luke Franjo Tuđman.

Na slici 29. prikazana je lista uravnoteženja i opterećenja praznog zrakoplova B777, na kojoj se vidi kakve indekse bi trebalo postići prilikom izrade liste uravnoteženja i opterećenja da bi zrakoplov bio dobro uravnotežen.

Na slici se vide prednji indeks 18,10, stražnji indeks 68,31, kao i idealan indeks 49,01, koji su potrebni prilikom izrade liste uravnoteženja i opterećenja. Broj 47,76 predstavlja trenutni indeks u trenutku dok je zrakoplov potpuno prazan.

Nakon toga, na slici se vide maksimalne mase koje se smiju utovariti u određene teretne odjeljke, kao i pozicije na koje će biti postavljene ULD jedinice, te teret za koji se predviđa da će biti utovaren na zrakoplov.

EKO130 16MAR ZAG LOAD DISTRIBUTION USING PLANNING TRIM LIMITS				
MACZFW	29.0			
ZAG ZFW	177803	49.01	18.10	47.76
1. 13378	2. 16554	3. 9522	4. 12696	68.31
5. 3842/154				
11L		11R		
12P D				
13P				
21P				
22P				
23P				
31L		31R		
32L		32R		
33L		33R		
41L		41R		
42L		42R D		
43L		43R		
44L		44R		
51 D				
52				
UNLOCATED LOAD				
1. AKE	DXB	BF	70R	
2. AKE	DXB	BJ	126R	
3. AKE	DXB	BT	680	
4. AKE	DXB	BT	627R	
5. AKE	DXB	BY	680	
7. AKE	DXB	BY	340R	
6. BULK	DXB	M	O/O*R	

Slika 29. Plan utovara za zrakoplov Emirates B777

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Let Emirates-a, EK130, 16. ožujka 2018., registracije A6EWH, sa posadom 2/14, konfiguracije 8/42/216, prevezao je ukupno 135 putnika i 10.624 kilograma prtljage. Prtljaga je bila raspoređena prema utovarnim listama prikazanim na slikama 30., 31. i 32.

Emirates		Flight No. EK 130		REG. A6EWH	DEP. DATE 16Mar18	ZAG DXB	ED NO. PREPARED BY AMIT, SINHA	PHONE +97145058541	RADIO 58541	TIME SENT 11:38	FWD ↑	PAGE 1 OF 3
LOADING REPORT							STD 14:40	A/C PRG 777-30	LOWER			
COMPARTMENT 2 Max 15544 Vent N/A / Temp N/A		COMPARTMENT 1 Max 15305 Vent N/A / Temp N/A										
23P DXB PMC33786EK 1895kg IA C		22P DXB PMC71188EK 1800kg IA C		21P DXB PMC33279EK 1625kg IA C		13P N		12P N		11P DXB PMC30996EK 1685kg IA C		
DOOR												
SPECIAL INSTRUCTIONS NO BF OR BJ BAGGAGE TO BE LOADED IN THE BULK Ax 115/122		STANDBY DEADLOAD / REMARKS										
		1 THIS AIRCRAFT HAS BEEN LOADED IN ACCORDANCE WITH THESE INSTRUCTIONS AND THE DEVIATIONS SHOWN ON THIS REPORT. ALL ULD NETS AND BULK LOADS HAVE BEEN SECURED IN ACCORDANCE WITH THE COMPANY REGULATIONS. 21 CONFIRM THAT ALL RECORDED DATA ON THIS LIRF HAS BEEN COMMUNICATED TO THE LOAD CONTROLLER AND THIS LIRF EDITION NUMBER IS ANNOTATED ON THE FINAL LOADSHEET. 1 STAFF MEMBER SIGNATURE <i>H. Rajeev</i> 733 <i>und</i> 2 GROUND CREW SIGNATURE <i>Bertone 065</i>										

Slika 30. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 1 i 2
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Emirates LOADING REPORT		Flight No. EK 130	REG. A6EWH	DEP. DATE 16 Mar 18	ZAG DXB 1	ED NO. PREPARED BY AMIT, SINHA	PHONE +97145058541	RADIO 58541	TIME SENT 11:38	FWD LOWER	PAGE 2 OF 3										
COMPARTMENT 3 Max 11452 Vent N/A / Temp N/A		<table border="1"> <tr> <td>31L DXB AKE44282EK 210kg C.COL.PES.WET ✓</td> <td>31R DXB AKE17226EK 210kg C.COL.PES.WET ✓</td> </tr> <tr> <td>32L DXB AKE40623EK 145kg C.COL.PES.WET ✓</td> <td>32R DXB AKE18155EK 656kg BT4 36pc 33 ✓</td> </tr> <tr> <td>33L DXB AKE90987EK 334kg BT3 16pc 13 ✓</td> <td>33R DXB AKE40532EK 397kg BT4 20pc 27 ✓</td> </tr> <tr> <td>41L DXB AKE45142EK 343kg BY 16pc 23 ✓</td> <td>41R DXB AKE43348EK 675kg BY 35pc 26 ✓</td> </tr> <tr> <td>42L DXB AKE44782EK 116kg BF r Ope 4 ✓ BJ r 3pc</td> <td>42R N</td> </tr> </table>										31L DXB AKE44282EK 210kg C.COL.PES.WET ✓	31R DXB AKE17226EK 210kg C.COL.PES.WET ✓	32L DXB AKE40623EK 145kg C.COL.PES.WET ✓	32R DXB AKE18155EK 656kg BT4 36pc 33 ✓	33L DXB AKE90987EK 334kg BT3 16pc 13 ✓	33R DXB AKE40532EK 397kg BT4 20pc 27 ✓	41L DXB AKE45142EK 343kg BY 16pc 23 ✓	41R DXB AKE43348EK 675kg BY 35pc 26 ✓	42L DXB AKE44782EK 116kg BF r Ope 4 ✓ BJ r 3pc	42R N
31L DXB AKE44282EK 210kg C.COL.PES.WET ✓	31R DXB AKE17226EK 210kg C.COL.PES.WET ✓																				
32L DXB AKE40623EK 145kg C.COL.PES.WET ✓	32R DXB AKE18155EK 656kg BT4 36pc 33 ✓																				
33L DXB AKE90987EK 334kg BT3 16pc 13 ✓	33R DXB AKE40532EK 397kg BT4 20pc 27 ✓																				
41L DXB AKE45142EK 343kg BY 16pc 23 ✓	41R DXB AKE43348EK 675kg BY 35pc 26 ✓																				
42L DXB AKE44782EK 116kg BF r Ope 4 ✓ BJ r 3pc	42R N																				
COMPARTMENT 4 Max 12700 Vent N/A / Temp N/A		<table border="1"> <tr> <td>42P DXB PMC38545EK 270kg C.CRT.PIL ✓ IA</td> </tr> </table>										42P DXB PMC38545EK 270kg C.CRT.PIL ✓ IA									
42P DXB PMC38545EK 270kg C.CRT.PIL ✓ IA																					
SPECIAL INSTRUCTIONS NO BF OR BJ BAGGAGE TO BE LOADED IN THE BULK		1 THIS AIRCRAFT HAS BEEN LOADED IN ACCORDANCE WITH THESE INSTRUCTIONS AND THE DEVIATIONS SHOWN ON THIS REPORT. ALL ULDSETS AND BULK LOADS HAVE BEEN SECURED IN ACCORDANCE WITH THE COMPANY REGULATIONS. 2 I CONFIRM THAT ALL RECORDED DATA ON THIS LRF HAS BEEN COMMUNICATED TO THE LOAD CONTROLLER AND THIS LRF EDITION NUMBER IS ANNOTATED ON THE FINAL LOADSHEET. 1 STAFF SIGNATURE <i>Mihajević 233</i> 2 DISPATCHER SIGNATURE <i>Behtovic 0517</i>																			
STANDBY DEADLOAD / REMARKS		DOOR																			

Slika 31. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 3 i 4
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

EK130 16MAR ZAGDXB - Final Loadsheet Edno 1.txt										
L O A D S H E E T				CHECKED			APPROVED		EDNO	
ALL WEIGHTS IN KILOS				LIC3987.AMIT					01	
FROM/TO FLIGHT		A/C REG		VERSION		CREW		DATE		TIME
ZAG DXB EK130/16		A6EWH		8F/42J/216Y		2/14		16MAR18		1407
LOAD IN COMPARTMENTS		WEIGHT		DISTRIBUTION						
		10624		1/	1605	2/	5320	3/	1908	
				4/	1340	5/	451	0/	0	
PASSENGER/CABIN BAG		10128		66/	61/	6/	2	TTL 135	CAB 0	
		PAX		1/	5/127	SOC	0/	0/	0	
		BLKD		0						

Slika 33. Podaci za let Emirates EK130
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Na zrakoplov je ukupno utovareno 20.752 kilograma. Suha operativna masa iznosila je 164.927 kilograma, stvarna masa zrakoplova bez goriva iznosila je 185.679 kilograma, dok maksimalna masa smije iznositi 209.106 kilograma. Gorivo pri polijetanju iznosilo je 40.700 kilograma, stvarna masa zrakoplova pri polijetanju iznosila je 226.379 kilograma, dok je maksimalna dozvoljena masa 307.000 kilograma. Gorivo za let iznosilo je 30.400 kilograma; stvarna masa zrakoplova pri slijetanju iznosila je 195.979 kilograma, dok maksimalna masa smije iznositi 223.167 kilograma, što se vidi iz slike 34.

TOTAL TRAFFIC LOAD	20752				
DRY OPERATING WEIGHT	164927				
ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL	185679	MAX	209106	L	ADJ
TAKE OFF FUEL	40700				
TAKE OFF WEIGHT	ACTUAL 226379	MAX	307000		ADJ
TRIP FUEL	30400				
LANDING WEIGHT	ACTUAL 195979	MAX	223167		ADJ

Slika 34. Stvarne i maksimalne mase na letu Emirates EK130
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Pomoću podataka sa slike 35., može se zaključiti da je zrakoplov bio pravilno uravnotežen i da je bio unutar dozvoljenih granica centra težišta. Slika 36. prikazuje podatke o utovarenom teretu, a cijela lista uravnoteženja i opterećenja za let Emirates-a, EK130 prikazana je na slici 37.

BALANCE AND SEATING CONDITIONS		LAST MINUTE CHANGES	
DOI ✓	34.1	LIZFW ✓	37.2
LITOW ✓	40.0	MACZFW ✓	25.0
MACTOW ✓	26.8		
BASED ON FUEL DENSITY .801 KG/LTR			
A1.B5.C52.D75.			
SEATROW TRIM			

Slika 35. Završni pregled rezultata uravnoteženja i opterećenja na letu Emirates EK130

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

```

-11P/PMC30996EK/DXB/1605/C
-12P/N
-13P/N
-21P/PMC33279EK/DXB/1625/C
-22P/PMC71188EK/DXB/1800/C
-23P/PMC33786EK/DXB/1895/C
-31L/AKE44282EK/DXB/210/C.COL/1.PES.WET-31R/AKE17226EK/DXB/210/
C.COL/1.PES.WET
-32L/AKE40623EK/DXB/145/C.COL/1.PES.WET-32R/AKE18155EK/DXB/579/
BT4
-33L/AKE90987EK/DXB/287/BT3-33R/AKE40532EK/DXB/477/BT4
-41L/AKE45142EK/DXB/441/BY-41R/AKE43348EK/DXB/490/BY
-42L/AKE44782EK/DXB/123/BJ/16/BY-42R/N
-42P/PMC38545EK/DXB/270/C.CRT/1.PIL/O
-51/DXB/35/BT3/61/BT4/116/BY/240/D.VR130
-52/DXB/239/E.CSU/239.VR283

```

Slika 36. Podaci o teretu na letu Emirates EK130

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

EK130 16MAR ZAGDXB - Final Loadsheet Edno 1.txt
 L O A D S H E E T CHECKED APPROVED EDNO
 ALL WEIGHTS IN KILOS LIC3987.AMIT 01

FROM/TO FLIGHT A/C REG VERSION CREW DATE TIME
 ZAG DXB EK130/16 A6EWH 8F/42J/216Y 2/14 16MAR18 1407

LOAD IN COMPARTMENTS WEIGHT DISTRIBUTION
 10624 1/ 1605 2/ 5320 3/ 1908
 4/ 1340 5/ 451 0/ 0

PASSENGER/CABIN BAG 10128 66/ 61/ 6/ 2 TTL 135 CAB 0
 PAX 1/ 5/127 SOC 0/ 0/ 0
 BLKD 0

 TOTAL TRAFFIC LOAD 20752
 DRY OPERATING WEIGHT 164927
 ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL 185679 MAX 209106 L ADJ
 TAKE OFF FUEL 40700
 TAKE OFF WEIGHT ACTUAL 226379 MAX 307000 ADJ
 TRIP FUEL 30400
 LANDING WEIGHT ACTUAL 195979 MAX 223167 ADJ

BALANCE AND SEATING CONDITIONS . LAST MINUTE CHANGES
 DOI 34.1 LIZFW 37.2 .DEST SPEC CL/CPT WEIGHT/IND
 LITOW 40.0 MACZFW 25.0 .
 MACTOW 26.8 .
 BASED ON FUEL DENSITY .801 KG/LTR .
 A1.B5.C52.D75 .
 SEATROW TRIM .

UNDERLOAD BEFORE LMC 23427 . LMC TOTAL

 LOADMESSAGE AND CAPTAINS INFORMATION BEFORE LMC

-DXB.66/61/6/2.0.T10624.1/1605.2/5320.3/1908.4/1340.5/451.PAX/1
 /5/127.PAD/0/0/5.CSU/5/239.COL/31L.PES/31L.COL/31R.PES/31R.CRT/
 42P.PIL/42P.COL/32L.PES/32L

SI PAX WEIGHTS USED M85 F70 C38 I10
 WEIGHT REPORT : 21C
 L/PLN ED-1
 SERVICE WEIGHT ADJUSTMENT WEIGHT/INDEX
 ADD
 NIL
 DEDUCTIONS
 NIL
 PANTRY CODE D
 NOTOC Required
 DXB C 6970 M 0 B 139/ 2235 O 239 T 0
 CPM
 -11P/PMC30996EK/DXB/1605/C
 -12P/N
 -13P/N
 -21P/PMC33279EK/DXB/1625/C
 -22P/PMC71188EK/DXB/1800/C
 -23P/PMC33786EK/DXB/1895/C
 -31L/AKE44282EK/DXB/210/C.COL/1.PES.WET-31R/AKE17226EK/DXB/210/
 C.COL/1.PES.WET
 -32L/AKE40623EK/DXB/145/C.COL/1.PES.WET-32R/AKE18155EK/DXB/579/
 BT4
 -33L/AKE90987EK/DXB/287/BT3-33R/AKE40532EK/DXB/477/BT4
 -41L/AKE45142EK/DXB/441/BY-41R/AKE43348EK/DXB/490/BY
 -42L/AKE44782EK/DXB/123/BJ/16/BY-42R/N
 -42P/PMC38545EK/DXB/270/C.CRT/1.PIL/0
 -51/DXB/35/BT3/61/BT4/116/BY/240/D.VR130
 -52/DXB/239/E.CSU/239.VR283
 END OF LOADSHEET

Slika 37. Lista uravnoteženja i opterećenja za let Emirates EK130
 Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Razlike između navedenih letova su velike, bez obzira na to što su oba zračna prijevoznika prevezla gotovo isti broj putnika na svojim relacijama. Razlike se najbolje vide iz tablice 11. koja se nalazi u nastavku i prikazuje razlike pri uravnoteženju zrakoplova Croatia Airlines-a, A319, i Emirates-a, B777.

Tablica 11. Razlike pri uravnoteženju zrakoplova B777 i A319

	EMIRATES EK130	CROATIA AIRLINES OU470
Destinacija	Dubai	Pariz
Konfiguracija	8/42/216	12/126
Maksimalni kapacitet kabine	266	138
Posada	2/14	2/5
Teret	10.624 kg	2.876kg
Putnici i ručna prtljaga	10.128 kg	10.778 kg
Ukupan teret i putnici	20.752 kg	13.654 kg
Suha operativna masa	164.927 kg	41.877 kg
Stvarna masa zrakoplova bez goriva	185.679 kg	55.531 kg
Maksimalna dopuštena masa zrakoplova bez goriva	209.106 kg	57.000kg
Gorivo pri polijetanju	40.700 kg	7.300 kg
Stvarna masa zrakoplova pri polijetanju	226.379 kg	6.2831 kg
Maksimalna dopuštena masa zrakoplova pri polijetanju	307.000 kg	64.000 kg
Gorivo za let	30.400 kg	4.100 kg
Stvarna masa zrakoplova pri slijetanju	195.979 kg	58.731 kg
Maksimalna dopuštena masa zrakoplova pri slijetanju	223.167 kg	61.000 kg
DOI	34,1	46,9
LIZFW	37,2	67,2
LITOW	40,0	65,0
MACTOW	26,8	30,7
MACZFW	25,0	32,4

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

4. PARAMETRI KOD URAVNOTEŽENJA I OPTEREĆENJA ZRAKOPLOVA KOJI UTJEČU NA EKONOMIČNOST LETA

Planiranje leta i raspored tereta u zrakoplovu uveliko mogu utjecati na ekonomičnost leta, odnosno mogu se smanjiti troškovi kada se u obzir uzmu svi parametri koji utječu na let zrakoplova.

Planirati se može:

- Ruta kojom će zrakoplov letjeti
- Kako izbjeći vremenske neprilike
- Kako pravilno utovariti plaćeni teret na zrakoplov
- Kolika će biti masa zrakoplova
- Položaj centra težišta zrakoplova,...

Kod planiranja leta zrakoplova potrebno je uzeti više parametara u obzir, a kada se govori o ekonomičnosti leta, potrebno je uzeti u obzir:

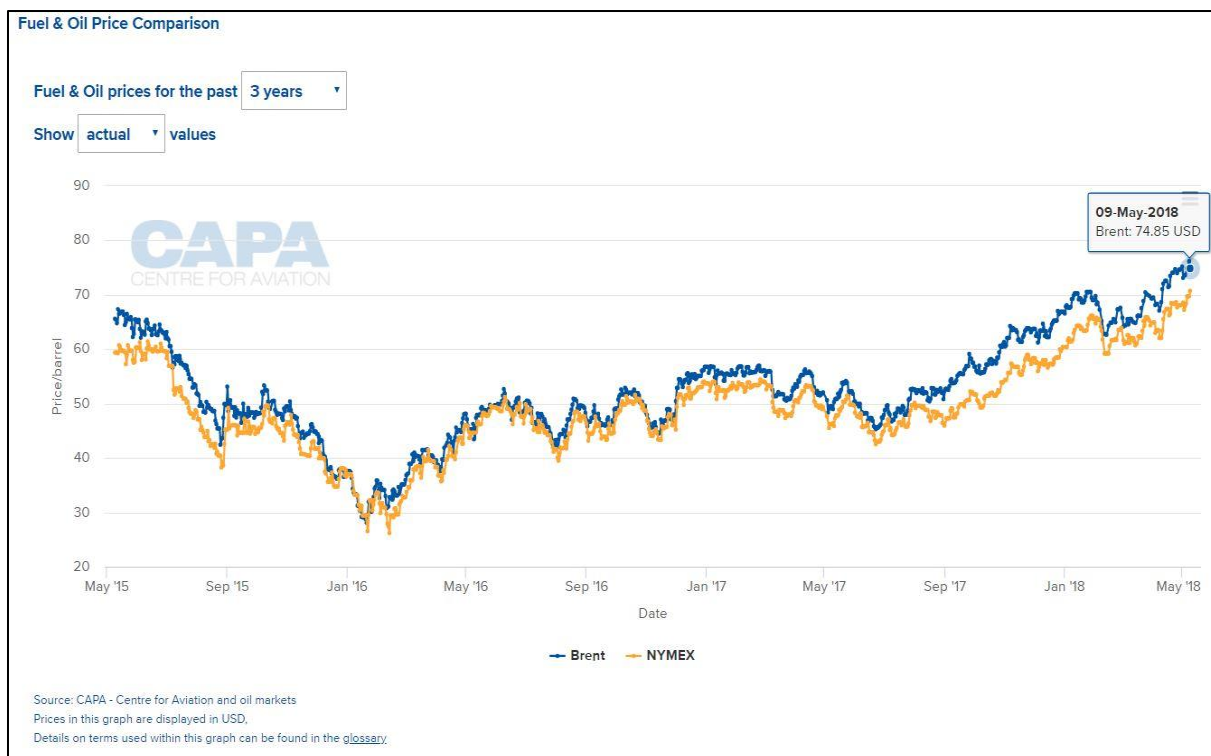
- Troškovni indeks
- Vremenske uvijete
- Položaj centra težišta.

Kada se govori o troškovnoj politici operatora zrakoplova, govori se o prioritetima operatora zrakoplova, odnosno što je njemu bitno, bilo da se radi o troškovima, kvaliteti ili nečemu drugome. Tu se može govoriti i o troškovnom indeksu koji predstavlja odnos troškova koji nastaju zbog vremena kao i troškovima vezanim uz gorivo, a koristi se za prikaz ekonomičnosti.

Za troškovni indeks uzeti će se sljedeći primjer. Ako su troškovi goriva značajniji i veći od troškova koji su nastali zbog vremena, tada će troškovni indeks biti niži, a ako su troškovi goriva manji u odnosu na troškove nastale zbog vremena, tada će troškovni indeks biti veći.

Ovisno o tome što je operatoru važnije, troškovi nastali zbog goriva ili troškovi nastali zbog brzine, odnosno vremena, koristiti će se pravila koja podliježu onome od čega će operater imati više koristi te gdje će generirati uštedu i povećati zaradu na letu.

Zbog cijene goriva koja u proteklm mjesecima konstantno raste, što se vidi iz slike 38., potrebno je dobro planirati potrošnju goriva zbog ukupnih troškova. Na dugolinijskim letovima posebno je važno planirati potrošnju goriva iz razloga što su troškovi goriva, ali i ukupni troškovi puno veći u odnosu na troškove koji nastaju na kratkolinijskim letovima.



Slika 38. Rast cijena goriva u posljednje tri godine

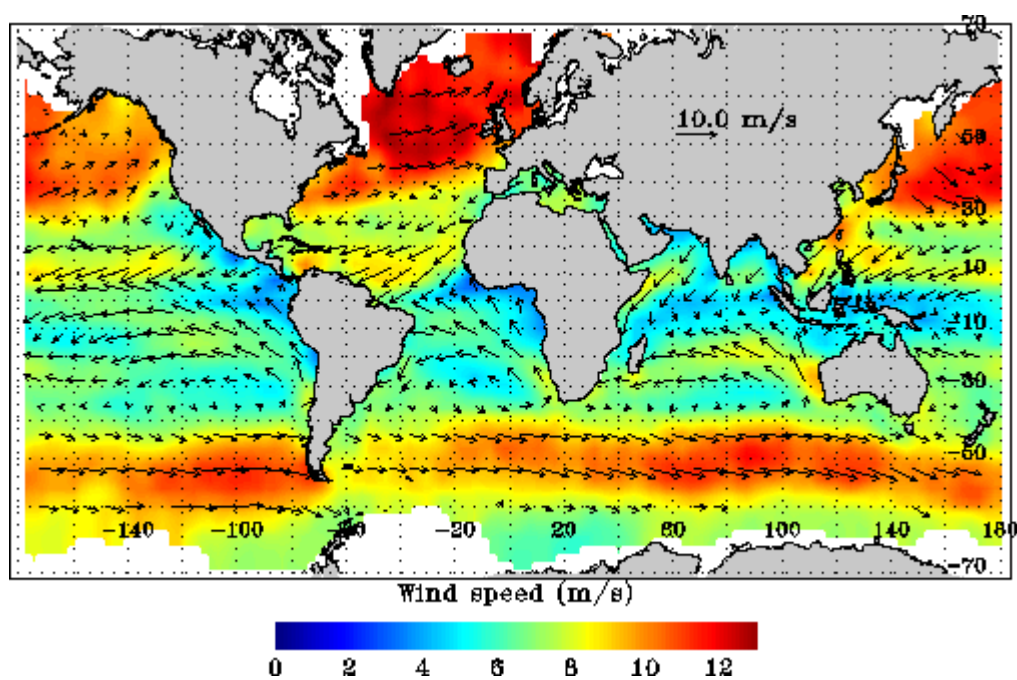
Izvor: URL: <https://centreforaviation.com/analysis/reports> (pristupljeno: svibanj 2018.)

Kada se govori o vremenskim uvjetima koji mogu utjecati na let zrakoplova, u obzir se uzimaju vremenski uvjeti koji se predviđaju na putanji kojom će se zrakoplov kretati od polazne pa sve do određene destinacije, tj. do alternativne zračne luke u slučaju nemogućnosti slijetanja na primarno planiranu zračnu luku.

Od vremenskih uvjeta, vjetar ima veliki utjecaja na potrošnju goriva, odnosno kada se vjetar uzme u obzir može se lako utjecati na ekonomičnost leta. Vjetar kao vremenska „nepogoda“, ovisno o razini leta može biti jači ili slabiji, a s obzirom na jačinu vjetra zrakoplov zbog većeg ili manjeg otpora troši više ili manje goriva te se promjenom razine na kojoj zrakoplov leti može postići više ili manje ekonomičniji let.

Sljedeći primjeri u kojima se zrakoplovi kreću na ruti Amsterdam – Montreal i Montreal – Pariz najbolje će prikazati kako vjetar utječe na brzinu leta zrakoplova, kao i na ekonomičnost leta.

Slika 39. prikazuje smjer i intenzitet vjetra iz čega se može zaključiti da je veliki intenzitet vjetra iz Amerike prema Europi. Kada se to poveže sa slikom 40. koja prikazuje putanje zrakoplova vidljivo je da koridori zrakoplova koji su uzeti za primjer točno ulaze u crvenu zonu najjačeg frontalnog vjetra kada zrakoplovi lete prema Sjevernoj Americi.



Slika 39. Prosječna globalna brzina vjetra i smjer (siječanj)

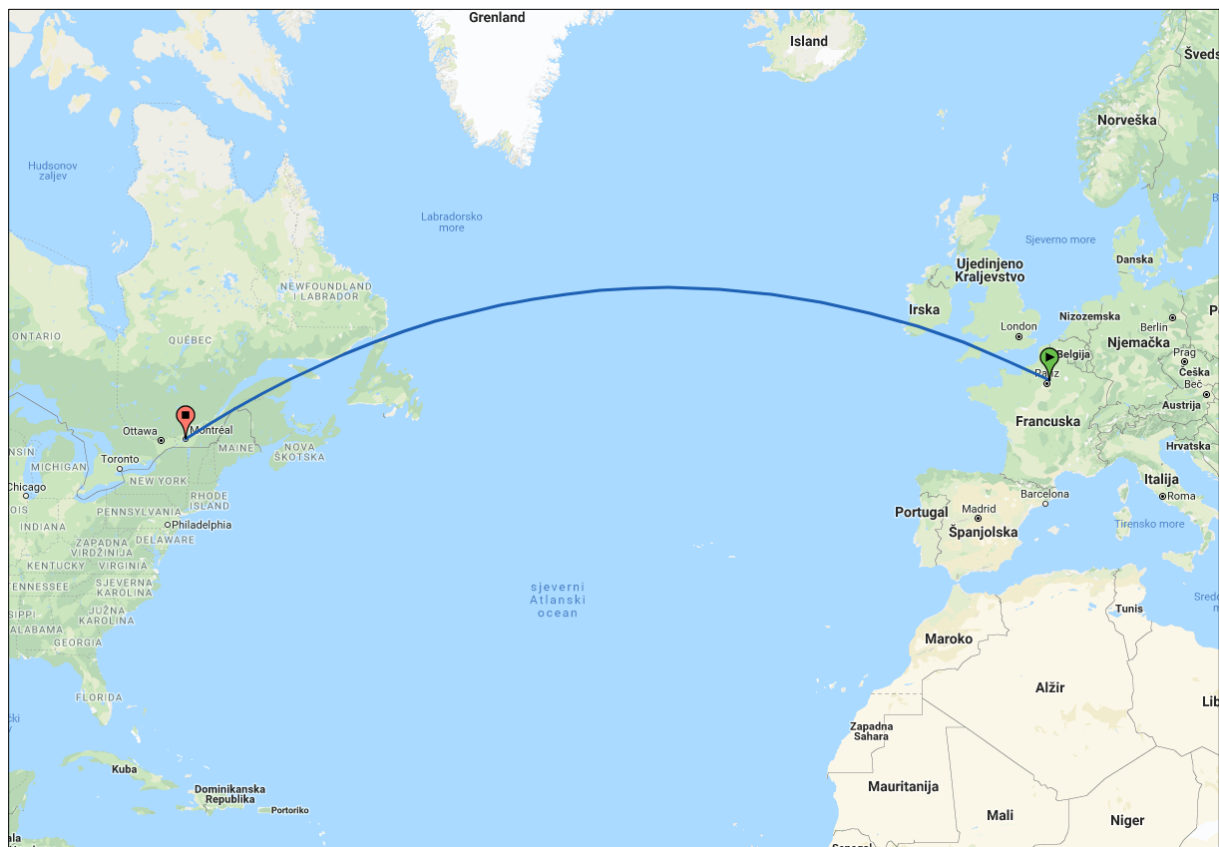
Izvor: URL: <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c02-p02.html> (pristupljeno: svibanj 2018.)



Slika 40. Koridori kretanja zrakoplova između Europe i Sjeverne Amerike

Izvor: URL: <https://www.flightradar24.com/> (pristupljeno: svibanj 2018.)

Let zrakoplova iz Amsterdama za Montreal, čija je putanja prikazana na slici 41., zbog vremenskih uvjeta traje otprilike oko sedam i pol sati te se zbog konstantnog vjetra koji pruža dodatni otpor zrakoplovu, brzina iznosi oko 780 kilometara na sat, što se vidi iz slike 42.

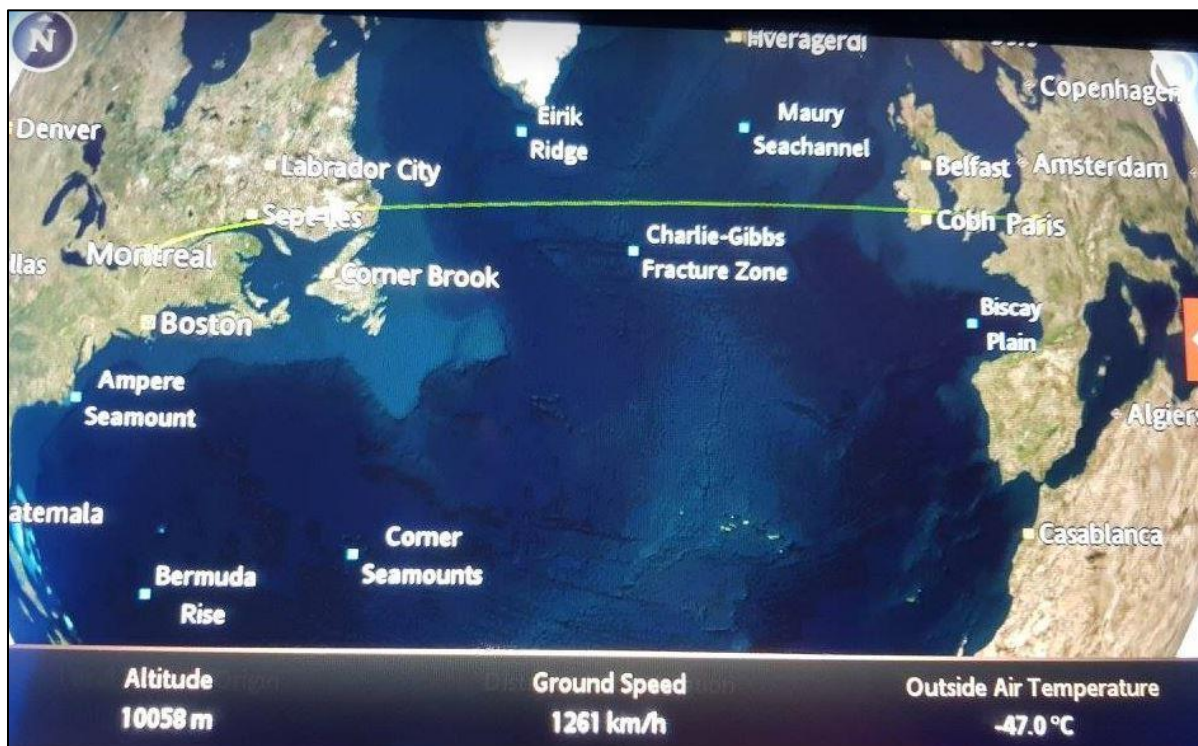


Slika 41. Prikaz rute zrakoplova na letu iz Amsterdama za Montreal
Izvor: URL: <https://www.travelmath.com> (pristupljeno: svibanj 2018.)



Slika 42. Prikaz podataka na letu zrakoplova iz Amsterdama za Montreal
Izvor: Autor

Let zrakoplova iz Montreala za Pariz, koji bi u pravilu trebao jednako trajati uz možda manje razlike u vremenu te ruti kao i let iz Amsterdama za Montreal, zbog vjetra „u leđa“ traje kraće, otprilike oko pet sati zbog brzine zrakoplova 1.261 km/h, što je puno manje od predviđenog trajanja leta s prethodnog primjera. Podaci o letu iz Montreala za Pariz prikazani su na slici 43.



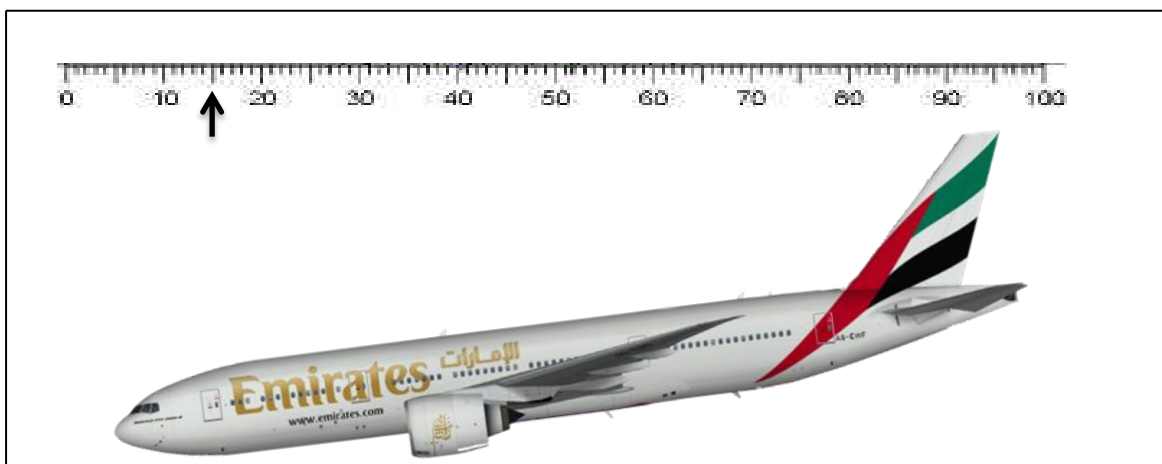
Slika 43. Prikaz leta zrakoplova iz Montreala za Pariz

Izvor: Autor

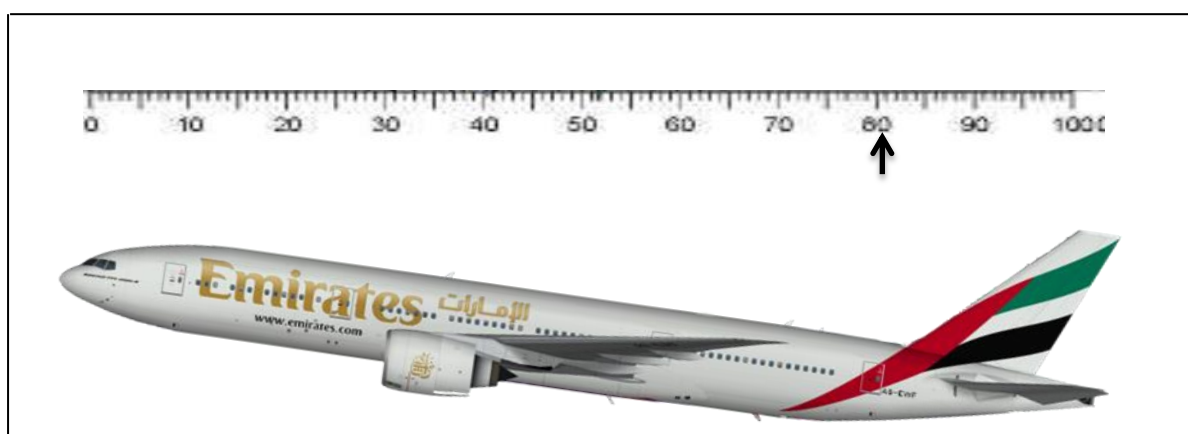
Na letu iz Amsterdama u Montreal, zbog jakog vjetra i povećanog otpora zrakoplova, povećana je i potrošnja goriva dok je na letu iz Montreala u Pariz, zbog vjetra u leđa i smanjenog otpora, smanjena i potrošnja goriva zrakoplova.

Uzimajući u obzir sve mase koje utječu na položaj centra težišta, položaj centra težišta može biti u poziciji koja je manje ili više pogodna za ekonomičnost leta.

Ako se zrakoplov utovari tako da je centar težišta više prema naprijed, tada je „nos“ zrakoplova spušten prema naprijed, kao što je prikazano na slici 44., ili ako je centar težišta više prema unatrag, tada je rep zrakoplova spušten, kao što je prikazano na slici 45.



Slika 44. Centar težišta pomaknut prema unaprijed, „nos“ prema dolje
 Izvor: Izradio autor prema <https://www.boeing.com/commercial/customers/emirates/>
 (pristupljeno: svibanj 2018.)



Slika 45. Centar težišta pomaknut prema unatrag, rep prema dolje
 Izvor: Izradio autor prema <https://www.boeing.com/commercial/customers/emirates/>
 (pristupljeno: svibanj 2018.)

Ovisno o tome u kojem položaju se nalazi centar težišta, govori se o povećanoj potrošnji goriva zrakoplova iz razloga što u oba slučaja, ako je nos ili rep zrakoplova spušten, dolazi do povećanog otpora te je povećana i potrošnja goriva zrakoplova.

5. URAVNOTEŽENJE ŠIROKOTRUPNOG ZRAKOPLOVA: STUDIJA SLUČAJA EMIRATES BOEING B777

5.1. URAVNOTEŽENJE ZRAKOPLOVA B777

Za primjer uravnoteženja zrakoplova B777, uzet je let Emirates EK130, Zagreb – Dubai, 22. veljače 2018.. Zrakoplov registracije A6ENM ima kapacitet 8/42/310, odnosno može prevesti 8 putnika prve klase, 42 putnika poslovne klase te 310 putnika ekonomske klase. Posada na zrakoplovu je 2/14, što znači da je ukupno 16 članova posade, od čega je 2 člana u cockpit-u i 14 članova kabinskog osoblja.

Maksimalne mase zrakoplova su:

- Maksimalna masa zrakoplova bez goriva iznosi 237.682 kilograma
- Maksimalna masa zrakoplova pri polijetanju iznosi 340.194 kilograma
- Maksimalna masa zrakoplova pri slijetanju iznosi 251.290 kilograma.

Zrakoplov B777, 22. veljače 2018. godine, na letu je prevezao ukupno 135 putnika, po klasama to iznosi 0/11/123, odnosno nitko nije putovao u prvoj klasi, 11 putnika prevezeno je u poslovnoj klasi i 123 putnika i jedna beba, koja nije zbrojena, u ekonomskoj klasi. Na letu je putovalo 65 muškaraca, 61 žena, 8 djece i beba, odnosno 65/61/8/1. Ukupna masa putnika na letu iznosila je 19.547 kilograma u što je uračunata i masa ručne prtljage.

U tablici 12. prikazane su standardne mase putnika za zračnog prijevoznika Emirates. Masa ručne prtljage koju putnik unosi sa sobom u putničku kabinu također je dodana u masu putnika.

Tablica 12. Standardne mase putnika

	Masa [kg]
Muškarci	85
Žene	70
Djeca	38
Bebe	10

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual B777, revision nr. 10, ožujak 2018.

Let zrakoplova predviđen je u 14:20, pa registracija putnika i prtljage započinje tri i pol sata prije leta, što znači da registracija za let počinje u 10:50. Podaci o putnicima i prtljazi trebaju biti prikupljeni i predani najkasnije do sat vremena prije leta, što znači da se podaci o putnicima i prtljazi predaju najkasnije do 13:20 u ured za uravnoteženje i opterećenje zrakoplova.

Mase posade se dijele na masu posade koja ima ručnu prtljagu i masu posade koja nema ručnu prtljagu. Razlika u masama vidljiva je u tablici 13., dok su na slici 46. prikazani su ulazni podaci za let, kao i podaci o putnicima na slici 47.

Tablica 13. Standardne mase posade

	Masa [kg]
Masa posade koja ima ručnu prtljagu	100
Masa posade koja nema ručnu prtljagu	85

Izvor: Emirates, Ground Operations Manual B777, revision nr. 10, ožujak 2018.

EK130 22FEB ZAGDXB - Final Loadsheet Edno 1.txt					
L O A D S H E E T	CHECKED	APPROVED	EDNO		
ALL WEIGHTS IN KILOS	LIC2241.AMJED		01		
FROM/TO FLIGHT	A/C REG	VERSION	CREW	DATE	TIME
ZAG DXB EK130/22	A6ENM	8F/42J/310Y	2/14	22FEB18	1420

Slika 46. Podaci za let Emirates EK130

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

PASSENGER/CABIN BAG	10109	65/	61/	8/	1	TTL	135	CAB	0
	PAX	0/	11/	123	SOC	0/	0/	0	
	BLKD	0							

Slika 47. Podaci o putnicima za let Emirates EK130

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Kada zrakoplov sleti u Zagreb, što je u ovom slučaju oko 11:00, potrebno je otprilike oko sat vremena da se putnici i prtljaga iskrcaju te da se obavi čišćenje zrakoplova. Za vrijeme iskrcaja putnika i prtljage, prikupljaju se podaci o teretu koji će biti ukrcan na let te se tada počinje planirati utovar tereta i izrađuju se upute ukrcaja/iskrcaja.

Prije utovara tereta u zrakoplov planira se gorivo potrebno za let. Podaci o gorivu dolaze u ured za uravnoteženje i opterećenje otprilike oko sat i pol vremena prije leta, kada se natoči gorivo u zrakoplov. Razlikuju se sljedeće vrste goriva koje se planiraju za let:

- Gorivo prije leta u rezervoarima
- Gorivo za polijetanje

- Gorivo za taksiranje
- Gorivo predviđeno za let
- Dodatno gorivo za let (gorivo za *holding* i gorivo za alternativni aerodrom)
- Gorivo za slijetanje
- Gorivo nakon leta koje ostaje u rezervoarima.

Prilikom planiranja utovara treba se paziti na redoslijed utovara tereta na zrakoplov. Redoslijed utovara tereta na zrakoplovima Emirates:

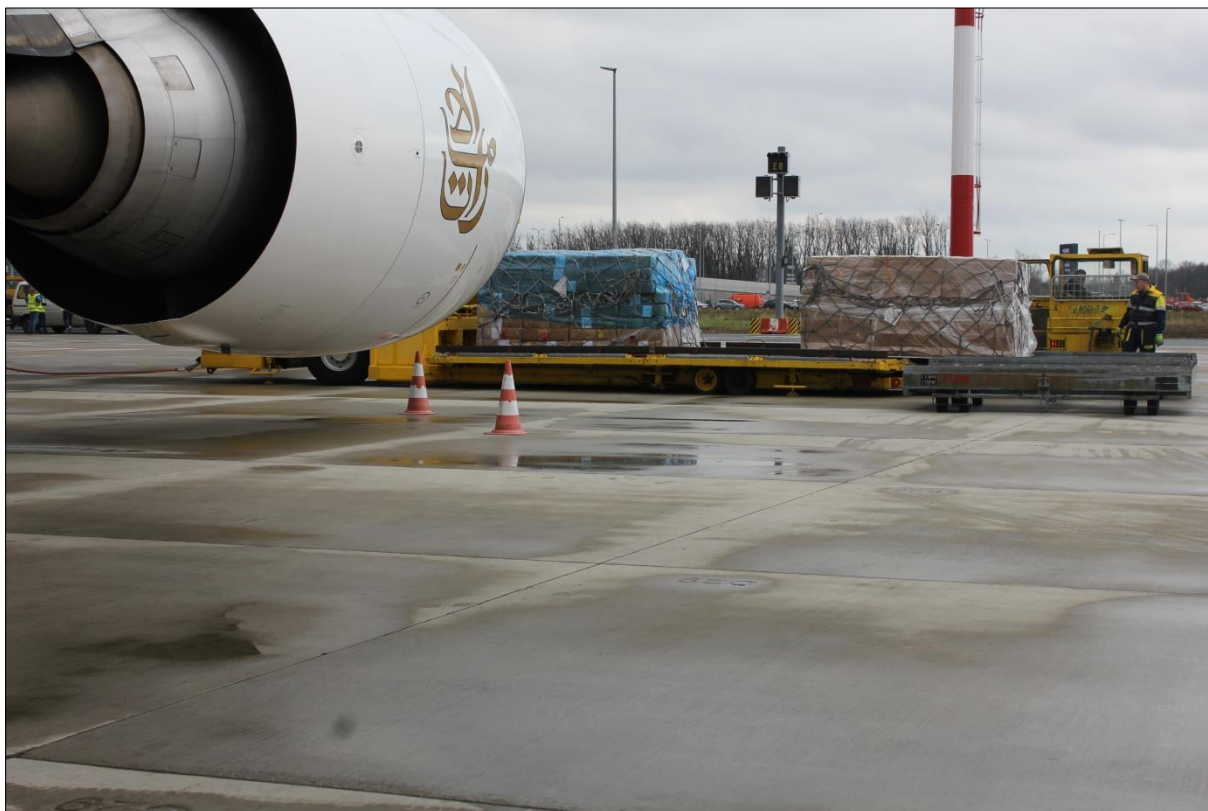
1. Rezervni dijelovi zrakoplova
2. Emirates kompanijska pošta
3. Ljudski organi, krv, diplomatska pošta, pošta, novine,
4. Prtljaga posade
5. Žive životinje
6. Pošta, prtljaga putnika
7. Prtljaga posade koja ne radi na tom zrakoplovu
8. Preostali teret
9. Kompanijski materijal
10. Prazne poštanske vreće.¹⁹

Na letu koji je uzet za primjer, utovareni su kontejneri (ULD) vrste AKE, prikazani na slici 48., dimenzija 156,2 X 153,4 centimetara i tara mase 80 kilograma, te palete vrste PMC, prikazane na slici 49., dimenzija 318 X 244 centimetara i tara mase 120 kilograma. Naknadno je ukrcana prtljaga putnika u teretni odjeljak za komadnu prtljagu.

¹⁹ Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.



Slika 48. Kontejner vrste AKE
Izvor: Autor



Slika 49. Paleta vrste PMC
Izvor: Autor

Podaci o utovarenom teretu prikazani su na slici 50., dok su utovarne liste za let prikazane su na slikama 51., 52. i 53.

```
-11L/AKE18305EK/DXB/570/C-11R/AKE44920EK/DXB/405/BT4  
-12L/AKE48396EK/DXB/225/BT4-12R/N  
-13P/N  
-21P/PMC74840EK/DXB/1440/C  
-22P/PMC38930EK/DXB/1470/C  
-23P/PMC32075EK/DXB/1565/C  
-24P/PMC75667EK/DXB/1770/C  
-25P/PMC35037EK/DXB/2155/C  
-31P/PMC71523EK/DXB/2600/C  
-32P/PMC79084EK/DXB/1240/C.CRT/1.PIL/0  
-33P/PMC38914EK/DXB/1540/C.CRT/1.EAT  
-34P/PMC34546EK/DXB/2055/C.CRT/1.EAT  
-42L/AKE18293EK/DXB/344/BT3-42R/AKE16354EK/DXB/110/BJ  
-43L/AKE40720EK/DXB/598/BY-43R/AKE41030EK/DXB/505/BY  
-44L/AKE17087EK/DXB/235/C.COL/1.PES.WET-44R/AKE48980EK/DXB/140/  
C.COL/1.PES.WET  
-51/DXB/240/D.VR172
```

Slika 50. Podaci o teretu na letu Emirates EK130
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Emirates LOADING REPORT	Flight No. EK 130	REG. A6ENM	DEP. DATE 22Feb18	ZAG DXB	ED NO. 1	PREPARED BY AMJED, SYED MOHAMMAD	PHONE +97148772284	RADIO 6138	TIME SENT 12:53	FWD ↑	PAGE 1																
							777-30 BER	AC PRG LOWER			GF																
COMPARTMENT 1																											
Max 15306																											
Vent N/A / Temp N/A																											
COMPARTMENT 2																											
Max 26758																											
Vent N/A / Temp N/A																											
<table border="1"> <tr> <td>11L DXB AKE18305EK 570kg C ✓</td> <td>11R DXB AKE44920EK 654kg BT4 356c 21</td> </tr> <tr> <td>12L DXB AKE48396EK 197kg BT4 89c 10</td> <td>12R N</td> </tr> <tr> <td colspan="2">13P N</td> </tr> <tr> <td colspan="2">21P DXB PMC74840EK 1440kg IA C ✓</td> </tr> <tr> <td colspan="2">22P DXB PMC38930EK 1470kg IA C ✓</td> </tr> <tr> <td colspan="2">23P DXB PMC32075EK 1565kg IA C ✓</td> </tr> <tr> <td colspan="2">24P DXB PMC75667EK 1770kg IA C ✓</td> </tr> <tr> <td colspan="2">25P DXB PMC35037EK 2155kg IA C ✓</td> </tr> </table>												11L DXB AKE18305EK 570kg C ✓	11R DXB AKE44920EK 654kg BT4 356c 21	12L DXB AKE48396EK 197kg BT4 89c 10	12R N	13P N		21P DXB PMC74840EK 1440kg IA C ✓		22P DXB PMC38930EK 1470kg IA C ✓		23P DXB PMC32075EK 1565kg IA C ✓		24P DXB PMC75667EK 1770kg IA C ✓		25P DXB PMC35037EK 2155kg IA C ✓	
11L DXB AKE18305EK 570kg C ✓	11R DXB AKE44920EK 654kg BT4 356c 21																										
12L DXB AKE48396EK 197kg BT4 89c 10	12R N																										
13P N																											
21P DXB PMC74840EK 1440kg IA C ✓																											
22P DXB PMC38930EK 1470kg IA C ✓																											
23P DXB PMC32075EK 1565kg IA C ✓																											
24P DXB PMC75667EK 1770kg IA C ✓																											
25P DXB PMC35037EK 2155kg IA C ✓																											
<p>1 THIS AIRCRAFT HAS BEEN LOADED IN ACCORDANCE WITH THESE INSTRUCTIONS AND THE DEVIATIONS SHOWN ON THIS REPORT. ALL ULDISNETS AND BULK LOADS HAVE BEEN SECURED IN ACCORDANCE WITH THE COMPANY REGULATIONS.</p> <p>2 I CONFIRM THAT ALL RECORDED DATA ON THIS LRP HAS BEEN COMMUNICATED TO THE LOAD CONTROLLER AND THIS LRP EDITION NUMBER IS ANNOTATED ON THE FINAL LOADSHEET.</p> <p>1 STAFF NBR/SIGNATURE <i>for gina</i></p> <p>2 DISPP/CLC LIC NBR/SIGNATURE</p>																											
STANDBY DEADLOAD / REMARKS																											
SPECIAL INSTRUCTIONS NO BF OR BJ BAGGAGE TO BE LOADED IN THE BULK																											

Slika 51. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 1 i 2
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

Emirates LOADING REPORT	Flight No. EK 130	REG. A6ENM	DEP. DATE 22Feb18	ZAG DXB 1	ED NO. PREPARED BY AMJED, SYED MOHAMMAD	PHONE +97148772284	HAZDO 6138	TIME SENT 12:53	FWD LOWER	PAGE 2 OF 3
	STD 14:40		ETD 14:40	AC PRG BER						

COMPARTMENT 3 Max 20400 Vent N/A / Temp N/A		<div>31P DXB PMC71523EK 2600kg C IA ✓</div> <div>32P DXB PMC79084EK 1240kg C.CRT.PIL IA ✓</div> <div>33P DXB PMC38914EK 1540kg C.CRT.EAT IA ✓</div> <div>34P DXB PMC34546EK 2055kg C.CRT.EAT IA ✓</div>	
42L DXB AKE18293EK 315kg BT3 14pc 16	42R DXB AKE16354EK 160kg BF r 0pc BJ r 5pc 3	DOOR	
43L DXB AKE40720EK 634kg BY 35pc 34	43R DXB AKE41930EK 520kg BY 28pc ✓		
44L DXB AKE17087EK 235kg C.COL.PES.WET ✓	44R DXB AKE48980EK 140kg C.COL.PES.WET ✓		

SPECIAL INSTRUCTIONS NO BF OR BJ BAGGAGE TO BE LOADED IN THE BULK	STANDBY DEADLOAD / REMARKS
	1 THIS AIRCRAFT HAS BEEN LOADED IN ACCORDANCE WITH THESE INSTRUCTIONS AND THE DEVIATIONS SHOWN ON THIS REPORT. ALL ULDs AND BULK LOADS HAVE BEEN SECURED IN ACCORDANCE WITH THE COMPANY REGULATIONS. 2 I CONFIRM THAT ALL RECORDED DATA ON THIS LRF HAS BEEN COMMUNICATED TO THE LOAD CONTROLLER AND THIS LRF EDITION NUMBER IS ANNOTATED ON THE FINAL LOADSHEET. 1 STAFF NBR/SIGNATURE 2 DISPC/LC NBR/SIGNATURE

Slika 52. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 3 i 4
Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

U zrakoplov je ukrcano ukupno 19.547 kilograma tereta prema utovarnim listama koje su prethodno prikazane. U teretni odjeljak 1. utovareno je 1.200 kilograma tereta; u teretni odjeljak 2. utovareno je 8.400 kilograma tereta; u teretni odjeljak 3. utovareno je 7.435 kilograma tereta; u teretni odjeljak 4. utovareno je 1.932 kilograma tereta dok je u teretni odjeljak 5. naknadno utovarena komadna prtljaga, 580 kilograma, kao što je prikazano na slici 54.



Slika 54. Utovar komadne prtljage na let Emirates EK130
Izvor: Autor

Podaci o utovarenom teretu šalju se u ured za uravnoteženje i opterećenje otprilike oko sat vremena prije početka leta, što znači da svi podaci koji se potrebni za izradu liste uravnoteženja i opterećenja zrakoplova dolaze u ured za uravnoteženje otprilike sat vremena prije leta. Tada se može započeti sa izradom liste uravnoteženja i opterećenja za zrakoplov. Isto tako, sat vremena prije leta započinje ukrcaj putnika u zrakoplov.

Na zrakoplov je ukupno utovareno 29.656 kilograma. Suha operativna masa iznosila je 176.150 kilograma, stvarna masa zrakoplova bez goriva iznosila je 205.806 kilograma, dok maksimalna masa smije iznositi 237.682 kilograma. Gorivo pri polijetanju iznosilo je 42.500 kilograma, stvarna masa zrakoplova pri polijetanju iznosila je 248.306 kilograma, dok je maksimalna dozvoljena masa 340.194 kilograma. Gorivo za let iznosilo je 33.500 kilograma, stvarna masa zrakoplova pri slijetanju iznosila je 214.806 kilograma, dok maksimalna masa smije iznositi 251.290 kilograma, što se vidi iz slike 55.

Isto tako, pomoću podataka, odnosno indeksa, sa slike 55., može se zaključiti da je zrakoplov bio pravilno uravnotežen i da je bio unutar dozvoljenih granica centra težišta. Slika 56. prikazuje cijelu listu uravnoteženja i opterećenja za let Emirates-a EK130.

TOTAL TRAFFIC LOAD	29656				
DRY OPERATING WEIGHT	176150				
ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL	205806	MAX	237682	L	ADJ
TAKE OFF FUEL	42500				
TAKE OFF WEIGHT ACTUAL	248306	MAX	340194		ADJ
TRIP FUEL	33500				
LANDING WEIGHT ACTUAL	214806	MAX	251290		ADJ
BALANCE AND SEATING CONDITIONS	.			LAST MINUTE CHANGES	
DOI 33.1	LIZFW 37.3	.	DEST SPEC CL/CPT WEIGHT/IND		
LITOW 39.5	MACZFW 23.3	.			
MACTOW 25.4	.				
BASED ON FUEL DENSITY .808 KG/LTR	.				
A0.B11.C24.D57.E42.	.				
SEAT ROW TRIM	.				

Slika 55. Završni pregled rezultata uravnoteženja i opterećenja na letu Emirates EK130

Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

EK130 22FEB ZAGDXB - Final Loadsheet Edno 1.txt
 L O A D S H E E T CHECKED APPROVED EDNO
 ALL WEIGHTS IN KILOS LIC2241.AMJED 01

FROM/TO FLIGHT A/C REG VERSION CREW DATE TIME
 ZAG DXB EK130/22 A6ENM 8F/423/310Y 2/14 22FEB18 1420

	WEIGHT	DISTRIBUTION					
LOAD IN COMPARTMENTS	19547	1/	1200	2/	8400	3/	7435
		4/	1932	5/	580	0/	0

PASSENGER/CABIN BAG	10109	65/	61/	8/	1	TTL	135	CAB	0
	PAX	0/	11/	123		SOC	0/	0/	0
	BLKD	0							

 TOTAL TRAFFIC LOAD 29656
 DRY OPERATING WEIGHT 176150
 ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL 205806 MAX 237682 L ADJ
 TAKE OFF FUEL 42500
 TAKE OFF WEIGHT ACTUAL 248306 MAX 340194 ADJ
 TRIP FUEL 33500
 LANDING WEIGHT ACTUAL 214806 MAX 251290 ADJ

BALANCE AND SEATING CONDITIONS . LAST MINUTE CHANGES
 DOI 33.1 LIZFW 37.3 .DEST SPEC CL/CPT WEIGHT/IND
 LITOW 39.5 MACZFW 23.3 .
 MACTOW 25.4 .
 BASED ON FUEL DENSITY .808 KG/LTR .
 A0.B11.C24.D57.E42 .
 SEATROW TRIM .

UNDERLOAD BEFORE LMC 31876 . LMC TOTAL

 LOADMESSAGE AND CAPTAINS INFORMATION BEFORE LMC

-DXB.65/61/8/1.0.T19547.1/1200.2/8400.3/7435.4/1932.5/580.PAX/0
 /11/123.PAD/0/3/9.CSU/5/282.CRT/33P.EAT/33P.COL/44L.PES/44L.CRT
 /34P.EAT/34P.COL/5.CRT/32P.PIL/32P.COL/44R.PES/44R

SI PAX WEIGHTS USED M85 F70 C38 I10
 WEIGHT REPORT : 153A
 LP EDNO.01
 SERVICE WEIGHT ADJUSTMENT WEIGHT/INDEX

ADD
 NIL
 DEDUCTIONS
 NIL
 PANTRY CODE D
 NOTOC Required
 DXB C 15517 M 0 B 130/ 2070 O 282 T 0
 CPM

-11L/AKE18305EK/DXB/570/C-11R/AKE44920EK/DXB/405/BT4
 -12L/AKE48396EK/DXB/225/BT4-12R/N
 -13P/N
 -21P/PMC74840EK/DXB/1440/C
 -22P/PMC38930EK/DXB/1470/C
 -23P/PMC32075EK/DXB/1565/C
 -24P/PMC75667EK/DXB/1770/C
 -25P/PMC35037EK/DXB/2155/C
 -31P/PMC71523EK/DXB/2600/C
 -32P/PMC79084EK/DXB/1240/C.CRT/1.PIL/0
 -33P/PMC38914EK/DXB/1540/C.CRT/1.EAT
 -34P/PMC34546EK/DXB/2055/C.CRT/1.EAT
 -42L/AKE18293EK/DXB/344/BT3-42R/AKE16354EK/DXB/110/BJ
 -43L/AKE40720EK/DXB/598/BY-43R/AKE41030EK/DXB/505/BY
 -44L/AKE17087EK/DXB/235/C.COL/1.PES.WET-44R/AKE48980EK/DXB/140/
 C.COL/1.PES.WET
 -51/DXB/240/D.VR172

Slika 56. Lista uravnoteženja i opterećenja za let Emirates EK130
 Izvor: Međunarodna zračna luka Franjo Tuđman

5.2. ANALIZA LISTA ZA URAVNOTEŽENJE I OPTEREĆENJE ZRAKOPLOVA B777

U ovom dijelu diplomskog rada analizirala su se dvadeset i dva leta zrakoplova na relaciji Zagreb – Dubai, odnosno njihove liste uravnoteženja i opterećenja sa ciljem uvida kako planiranje utovara kod širokotrupnih zrakoplova utječe na ekonomičnost leta zrakoplova. U nastavku je vidljivo na koji način postavljanje centra težišta u idealnu poziciju može utjecati na performanse zrakoplova s ciljem postizanja maksimalne ekonomičnosti na letu, tj. uštede goriva. Podaci o svim letovima nalaze se u tablici 14., 15. i 16.

Za izradu tablice prikupljali su se sljedeći podaci:

- Datum leta
- Broj leta
- Destinacija
- Registracija zrakoplova
- Verzija zrakoplova, odnosno konfiguracija zrakoplova
- Kapacitet putničke kabine
- Vrsta zrakoplova
- Dolet zrakoplova (kilometar)
- Posada na zrakoplovu
- Prevezeni putnici na letu (kilogram)
- Prevezeni teret na letu (kilogram)
- Prevezeni putnici i teret na letu (kilogram)
- Ukupan broj prevezenih putnika na letu
- Broj prevezenih putnika na letu po klasama prijevoza – prva, poslovna i ekonomska klasa; tu nisu ubrojane bebe na zrakoplovu
- Utovar tereta po teretnim odjeljcima (kilogram)
- DOW, Suha operativna masa, engl. *Dry operating Mass* (kilogram)
- ZFW, masa zrakoplova bez goriva, engl. *Zero Fuel Mass* (kilogram)
- MZFW, maksimalna masa zrakoplova bez goriva, engl. *Maximum Zero Fuel Mass* (kilogram)
- ToF, gorivo pri polijetanju, engl. *Take off Fuel* (kilogram)
- ToW, masa zrakoplova pri polijetanju, engl. *Take-off Mass* (kilogram)
- MToW, maksimalna masa zrakoplova pri polijetanju, engl. *Maximum Take off Mass* (kilogram)
- TF, gorivo za let, engl. *Trip Fuel* (kilogram)
- LW, masa zrakoplova pri slijetanju, engl. *Landing Mass* (kilogram)
- MLW, maksimalna masa zrakoplova pri slijetanju, engl. *Maximum Landing Mass* (kilogram)
- Idealni indeks za zrakoplove

- DOI, indeks kod suhe operativne mase
- LIZFW, utovareni indeks na konstruktivnoj masa zrakoplova bez goriva
- LITOW, utovareni indeks na konstruktivnoj masa zrakoplova pri polijetanju
- MACZFW, položaj težišta zrakoplova kod mase zrakoplova bez goriva (%)
- MACTOW, položaj težišta zrakoplova kod mase zrakoplova pri polijetanju (%)

Tablica 14. Osnovni parametri 22 promatrana zrakoplova (dio 1)

Br.	Datum	Broj leta	Destinacija	Registracija	Verzija	Kapacitet kabine	AC sub tip	Dolet [km]	Posada	Putnici	Teret [kg]	Putnici i teret [kg]
1	16MAR18	EK130	Dubai	A6EWH	8/42/216	266	777-200LR	17.446	2/14	10.128	10.624	20.752
2	01DEC17	EK130	Dubai	A6EWG	8/42/216	266	777-200LR	17.446	2/15	8.021	11.858	19.879
3	07DEC17	EK130	Dubai	A6EWF	8/42/216	266	777-200LR	17.446	2/13	17.442	16.178	33.620
4	15DEC17	EK130	Dubai	A6EWE	8/42/216	266	777-200LR	17.446	2/13	9.271	14.166	23.437
5	08MAR18	EK130	Dubai	A6ECV	8/42/304	266	777-200LR	17.446	2/13	9.732	10.912	20.644
6	16MAR18	EK130	Dubai	A6EWH	8/42/216	266	777-200LR	17.446	2/14	10.128	10.624	20.752
7	09MAR18	EK130	Dubai	A6ENN	8/42/310	364	777-300	11.029	2/13	9.852	9.360	19.212
8	22FEB18	EK130	Dubai	A6ENM	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/14	10.109	19.547	29.656
9	24DEC17	EK130	Dubai	A6EGC	8/42/304	357	777-300ER	14.594	2/13	17.677	25.183	42.860
10	15FEB18	EK130	Dubai	A6EPC	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/13	16.353	20.572	36.925
11	18FEB18	EK130	Dubai	A6EGY	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/13	16.824	6.995	23.819
12	23FEB18	EK130	Dubai	A6EPN	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/14	8.095	19.770	27.865
13	01MAR18	EK130	Dubai	A6EGX	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/15	8.647	10.678	19.325
14	02MAR18	EK130	Dubai	A6EGG	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/13	8.859	8.483	17.342
15	03MAR18	EK130	Dubai	A6ECK	8/42/304	357	777-300ER	14.594	2/13	10.569	16.491	27.060
16	04MAR18	EK130	Dubai	A6EBR	8/42/304	357	777-300ER	14.594	2/13	17.386	16.102	33.488
17	06MAR18	EK130	Dubai	A6EBW	8/42/304	357	777-300ER	14.594	2/14	18.872	8.849	27.721
18	10MAR18	EK130	Dubai	A6EBR	8/42/304	357	777-300ER	14.594	2/13	8.051	8.826	16.877
19	11MAR18	EK130	Dubai	A6EBK	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/13	8.640	15.883	24.523
20	13MAR18	EK130	Dubai	A6ECH	8/42/304	357	777-300ER	14.594	2/14	14.950	5.946	20.896
21	15MAR18	EK130	Dubai	A6EPL	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/13	10.476	20.220	30.696
22	18MAR18	EK130	Dubai	A6EBP	8/42/310	363	777-300ER	14.594	2/13	14.972	13.210	28.182

Izvor: Autor

Tablica 15. Osnovni parametri 22 promatrana zrakoplova (dio 2)

Br.	Ukupni broj putnika	Putnička klasa			Utovar po odjeljcima [kg]				
		Prva	Poslovna	Ekonomska	Odjeljak 1	Odjeljak 2	Odjeljak 3	Odjeljak 4	Odjeljak 5
1	135	1	5	127	1.605	5.320	1.908	1.340	451
2	105	0	5	99	900	2.945	5.565	2.135	308
3	227	2	22	202	3.129	4.265	3.337	5.169	278
4	105	1	13	105	2.715	4.005	2.370	4.544	532
5	128	0	14	110	3.995	8.620	7.340	2.483	783
6	135	1	5	127	1.605	5.320	1.908	1.340	451
7	131	0	18	111	0	4.040	3.346	1.495	479
8	135	0	11	123	1.200	8.400	7.435	1.932	580
9	246	2	7	236	4.095	9.150	6.920	4.300	718
10	222	1	7	212	2.993	8.415	4.604	4.035	525
11	226	0	7	219	2.181	0	2.737	1.655	422
12	107	1	5	100	2.185	8.225	7.145	1.823	392
13	114	1	6	105	0	4.515	2.902	2.880	381
14	114	0	10	104	0	3.720	3.927	468	368
15	138	1	7	129	995	8.980	3.165	3.012	339
16	224	1	14	206	1.930	7.585	3.974	1.935	678
17	250	1	9	238	710	2.580	5.079	142	338
18	105	0	9	93	1.190	1.460	4.882	830	464
19	112	1	5	105	1.917	4.975	4.215	4.295	481
20	197	0	8	188	1.080	0	4.371	0	495
21	136	0	13	124	3.075	7.620	5.615	3.470	440
22	196	1	9	184	1.045	5.185	4.936	1.640	404

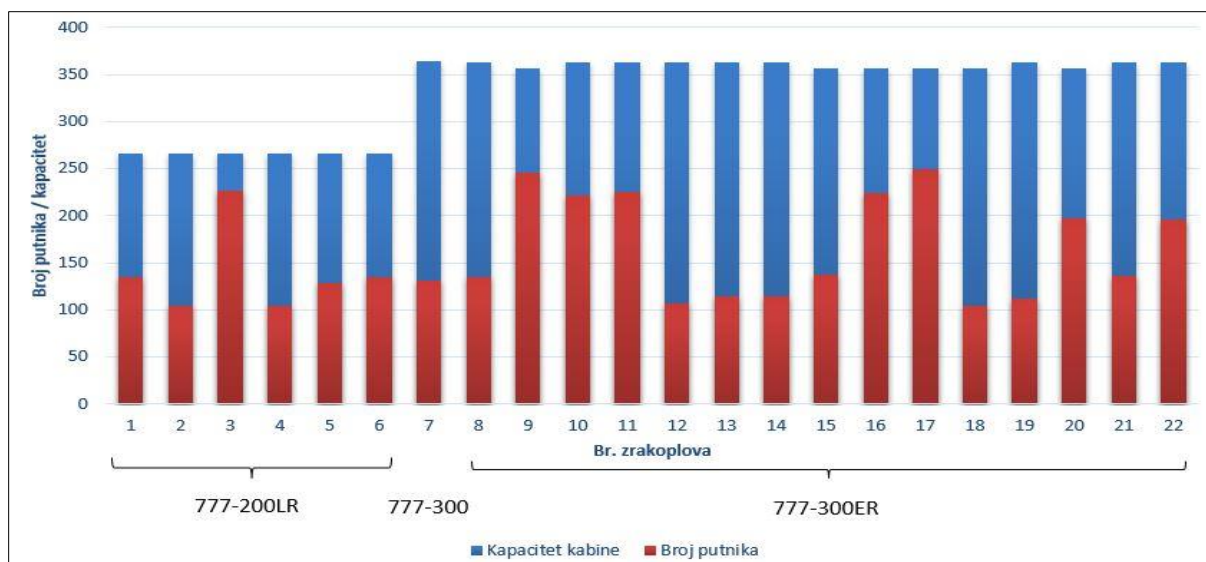
Izvor: Autor

Tablica 16. Osnovni parametri 22 promatrana zrakoplova (dio 3)

Br.	DOM [kg]	ZFM [kg]	MZFM [kg]	ToF [kg]	ToM [kg]	MtoM [kg]	TF [kg]	LM [kg]	MLM [kg]	Idealni indeks	DOI	LI ZFM	LI TOM	MAC ZFM	MAC TOM
1	164.927	185.679	209.106	40.700	226.379	307.000	30.400	195.979	223.167	33,4	34,1	37,2	40,0	25,0	26,8
2	164.121	184.000	209.106	38.800	222.800	343.369	31.000	191.800	223.167	38,0	39,1	55,9	58,0	32,3	32,6
3	164.830	198.450	209.106	46.800	245.250	316.000	33.300	211.950	223.167	34,8	35,1	55,9	61,3	32,1	33,3
4	164.848	188.285	209.106	38.300	226.585	329.000	30.200	196.385	223.167	34,2	34,5	44,5	46,5	27,9	28,9
5	178.337	198.981	209.106	42.700	241.681	337.000	34.100	207.581	251.290	36,0	37,1	33,9	36,3	21,8	24,2
6	164.927	185.679	209.106	40.700	226.379	307.000	30.400	195.979	223.167	33,4	34,1	37,2	40,0	25,0	26,8
7	175.792	195.004	237.682	39.500	234.504	335.000	31.400	203.104	251.290	33,1	33,0	41,5	43,1	25,3	26,8
8	176.150	205.806	237.682	42.500	248.306	340.194	33.500	214.806	251.290	33,0	33,1	37,3	39,5	23,3	25,4
9	177.685	220.545	237.682	69.300	289.845	324.000	41.300	248.545	251.290	35,8	36,4	43,9	54,9	27,0	31,8
10	175.093	212.018	237.682	43.800	255.818	340.194	35.400	220.418	251.290	33,8	34,1	41,9	44,7	25,8	27,8
11	176.385	200.204	237.682	41.700	241.904	317.000	33.800	208.104	251.290	33,0	33,6	49,8	51,9	29,9	30,8
12	175.123	202.988	237.682	44.600	247.588	324.000	33.900	213.688	251.290	33,8	34,4	33,6	36,5	21,3	24,1
13	176.611	195.936	237.682	46.800	242.736	337.000	32.800	209.936	251.290	32,8	33,5	43,2	46,8	26,3	28,6
14	176.596	193.938	237.682	46.600	240.538	323.000	32.500	208.038	251.290	33,1	33,4	42,0	45,5	25,5	28,0
15	178.491	205.551	237.682	41.000	246.551	339.000	32.800	213.751	251.290	36,2	36,8	38,0	39,8	23,7	25,5
16	178.563	212.051	237.682	42.600	254.651	333.000	34.000	220.651	251.290	35,7	36,3	43,0	45,3	26,4	28,0
17	179.035	206.756	237.682	43.500	250.256	323.000	33.600	216.656	251.290	35,5	36,8	55,9	58,4	33,0	33,6
18	178.563	195.440	237.682	41.200	236.640	346.000	32.100	204.540	251.290	35,7	36,3	44,9	46,9	27,1	28,5
19	177.681	202.204	237.682	42.000	244.204	337.000	33.800	210.404	251.290	33,2	33,8	45,0	47,3	27,3	28,8
20	178.566	199.462	237.682	40.700	240.162	323.000	32.600	207.562	251.290	35,9	36,8	54,9	56,8	32,6	33,0
21	175.259	205.955	237.682	45.200	251.155	340.194	34.200	216.955	251.290	33,6	33,9	34,5	37,7	21,9	24,7
22	175.168	203.350	237.682	41.200	244.550	338.000	32.800	211.750	251.290	34,0	34,2	43,7	45,6	26,6	28,1

Izvor: Autor

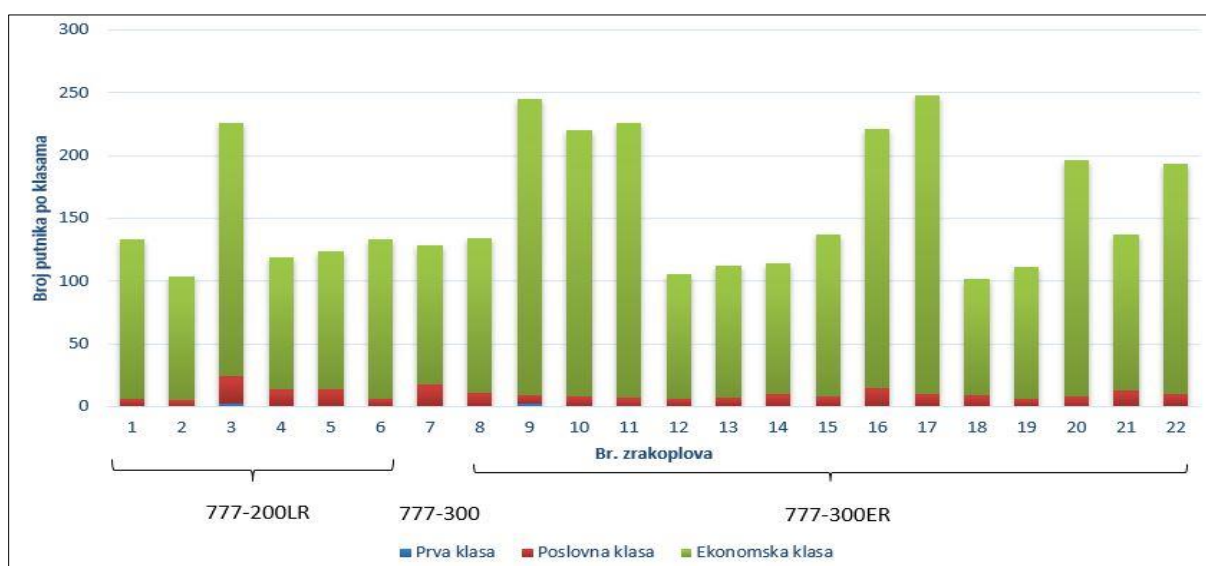
Na temelju podataka iz tablice može se zaključiti da niti jedan od dvadeset i dva leta na relaciji Zagreb – Dubai nije bio pun. Kada se sagledaju mase putnika, može se reći da putnici u slučaju vrlo male popunjenosti kabine nemaju preveliki utjecaj na opterećenje ovakvog tipa zrakoplova. Odnos broja putnika, koji su prevezeni na letovima Zagreb – Dubai, i kapaciteta zrakoplova prikazani su na grafikonu 1.



Grafikon 1. Popunjenost kabine promatranih zrakoplova na ruti ZAG - DBX za 22 zrakoplova

Izvor: Autor

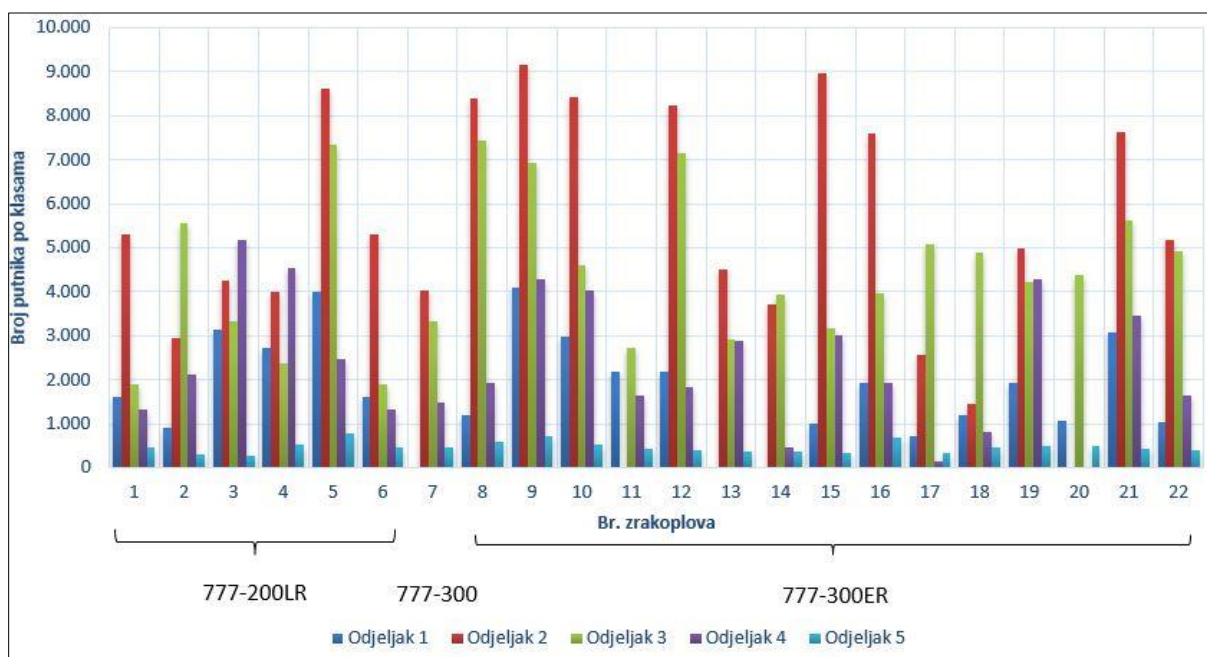
Kada se analizira raspodjela putnika po klasama zrakoplova, dolazi se do zaključka da je najmanje putnika prevezeno u prvoj klasi, nešto veći broj putnika prevezen je u poslovnoj klasi, ali najveći broj putnika ipak je prevezen u ekonomskoj klasi, što se vidi iz grafikona 2. koji prikazuje broj prevezenih putnika po klasama.



Grafikon 2. Broj putnika po klasama za 22 zrakoplova

Izvor: Autor

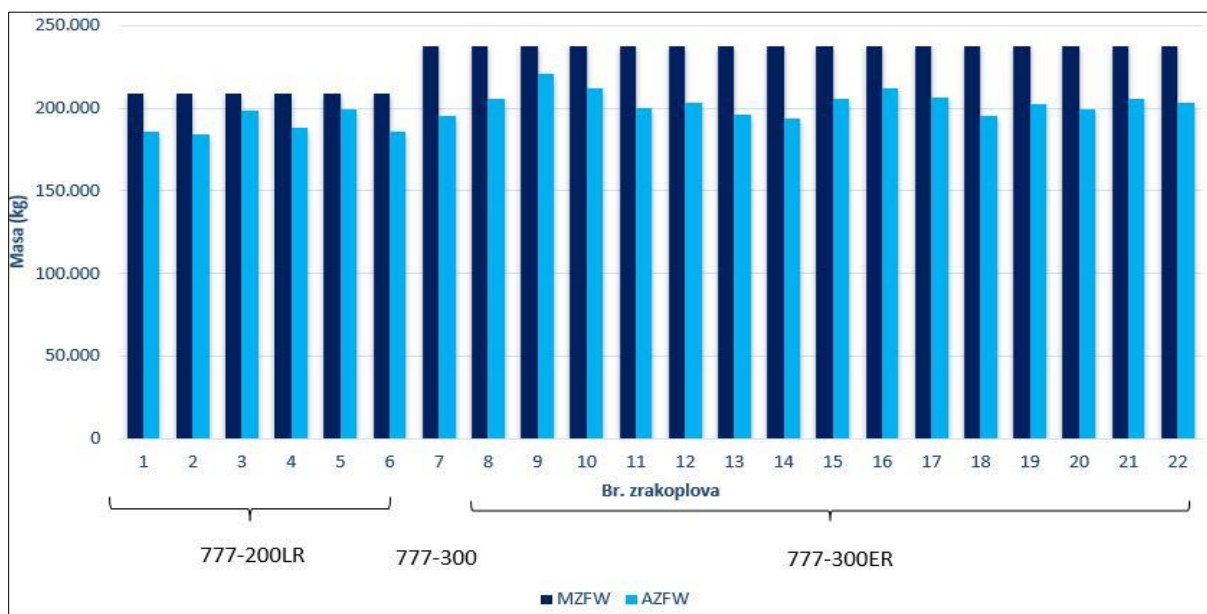
Iz grafikona 3. zaključuje se da se daje prednost utovara u teretne odjeljke 2 i 3 iz razloga što se oni nalaze bliže krilima zrakoplova te time imaju najmanji utjecaj na centar težišta.



Grafikon 3. Realizirani utovar prema odjeljcima zrakoplova Emirates B777 za 22 zrakoplova

Izvor: Autor

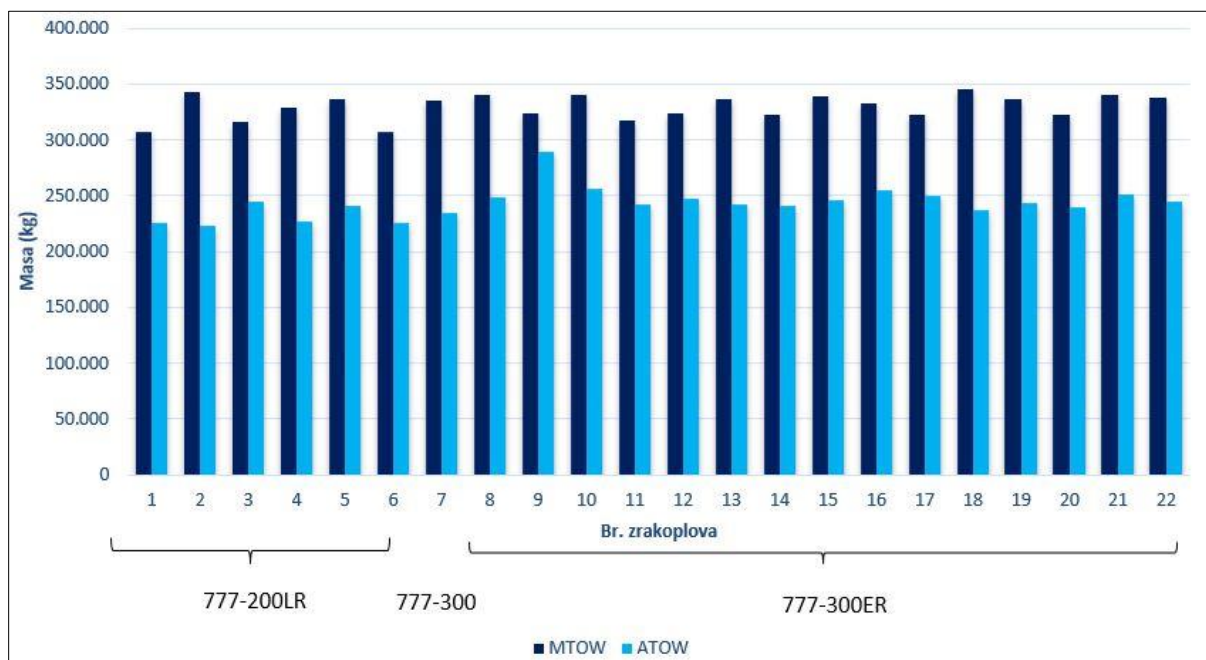
Grafikon 4. pokazuje da su svi zrakoplovi bili pravilno uravnoteženi, odnosno sve stvarne mase zrakoplova bez goriva manje su od maksimalnih dozvoljenih.



Grafikon 4. Odnos maksimalnih i stvarnih masa ZFW za 22 zrakoplova

Izvor: Autor

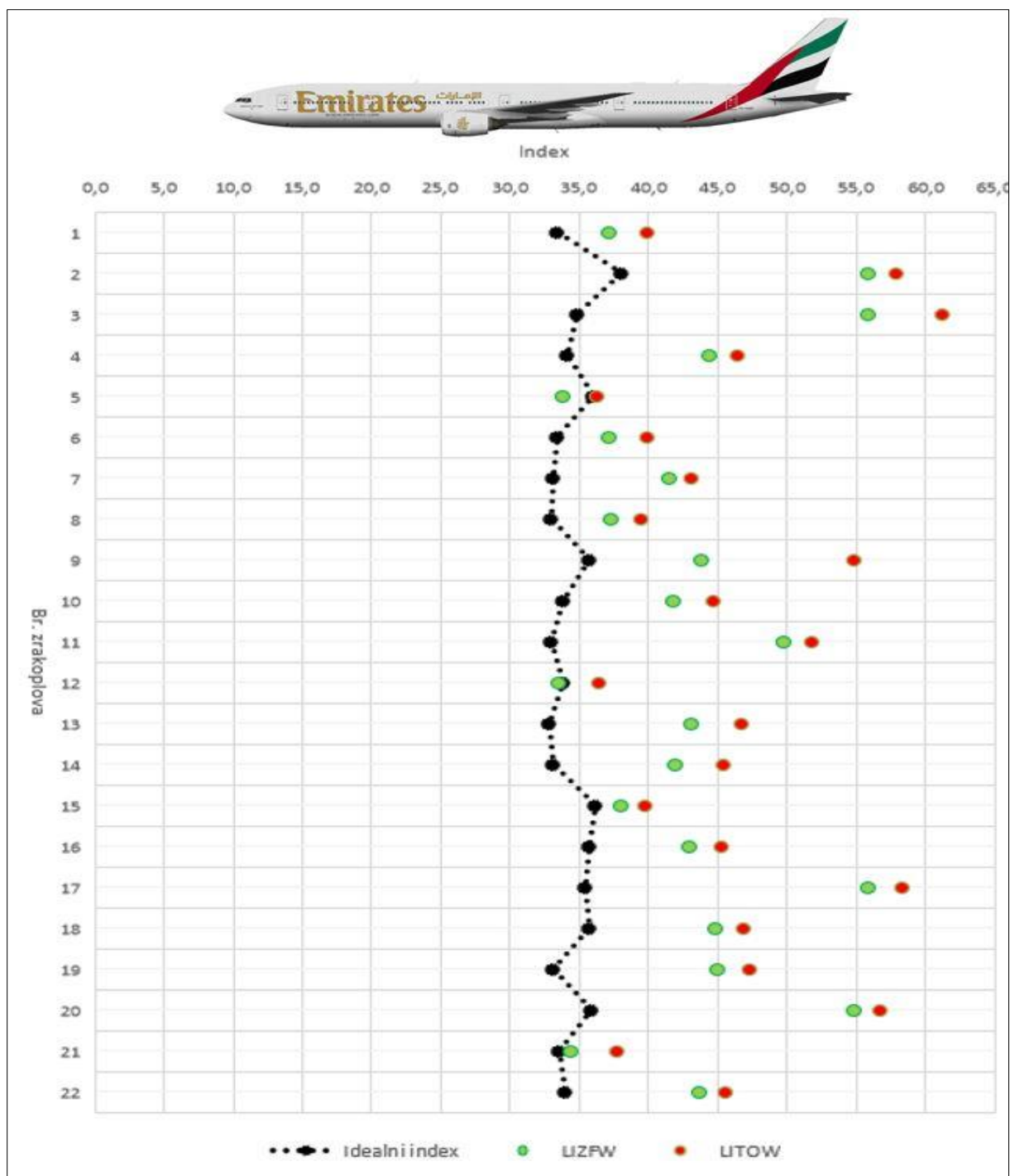
Iz grafikona 5. vidi se, kao i iz grafa 4., da su svi zrakoplovi bili pravilno uravnoteženi, zbog toga što se vidi da su sve stvarne mase zrakoplova pri polijetanju, manje od maksimalnih dozvoljenih.



Grafikon 5. Odnos maksimalnih i stvarnih masa TOW za 22 zrakoplova

Izvor: Autor

Grafikon 6. dovodi do zaključka da zračni prijevoznik Emirates veliku pažnju pridodaje ekonomičnosti leta, odnosno posvećuju pažnju pravilnom utovaru zrakoplova što utječe na smanjenu potrošnju goriva. Iz grafa se vidi da se prilikom uravnoteženja zrakoplova pokušava postići idealni indeks zrakoplova, koji je prikazan crnim točkama na grafu. Ako je nemoguće potići idealni indeks, pokušava se postići stražnja centraža zrakoplova kako ne bi došlo do dodatnog povećanja otpora zrakoplova, te kako bi potrošnja goriva ostala smanjena.



Grafikon 6. Prkaz idealnog i stvarnog centra težišta na promatrana 22 zrakoplova Emirates B777

Izvor: Autor

6. ZAKLJUČAK

Prilikom planiranja leta zrakoplova potrebno je uzeti u obzir troškovni indeks, vremenske uvjete i položaj centra težišta. Potrebno je planirati utovar zrakoplova sa tendencijom postizanja idealnog centra težišta. Zavisno od veličine odstupanja dolazi do povećanja troškova leta i ukupnih troškova održavanja zrakoplova.

Prekoračenjem dopuštenih masa i lošim uravnoteženjem zrakoplova narušavaju se letne karakteristike zrakoplova. Posljedice lošeg uravnoteženja zrakoplova su: povećanje potrošnje goriva, potencijalno oštećenje stajnog trapa i trupa zrakoplova te otežano polijetanje i slijetanje, čime je ugrožena sigurnost zrakoplova.

Razlike u opsluživanju i planiranju uravnoteženja uskotrupnih (A319 – Croatia Airlines) i širokotrupnih zrakoplova (B777 – Emirates) su velike. Osim velike razlike u masama, zbog većeg broja putnika, veće količine tereta i većeg broja posade, kao i veće količine goriva, zračni prijevoznik Emirates posvećuje veliku pažnju optimiziranju navedenih elemenata sa ciljem postizanja ekonomičnosti leta.

Prilikom analize dvadeset i dva leta zrakoplova B777 zračnog prijevoznika Emirates dolazi se do zaključka da u slučaju male popunjenosti kabine, putnici nemaju veliki utjecaj na opterećenje zrakoplova kao što je B777 dok se prednost utovara daje teretnim odjeljcima koji se nalaze bliže krilima, a samim time imaju najmanji utjecaj na centar težišta zrakoplova.

Uzimanjem u obzir relevantnih elemenata dolazi se do zaključka kako zračni prijevoznik Emirates želi smanjiti potrošnju goriva čime se smanjuju i ukupni troškovi širokotrupnih zrakoplova na dugolinijskim letovima.

POPIS LITERATURE

1. Jirasek, D.: Težine i uravnoteženje zrakoplova, Zračna luka Zagreb, 1998.
2. Croatia Airlines, Aircraft Handling Manual, 2015.
3. Croatia Airlines, Ground Operations Manual, 2015.
4. Emirates, Ground Operations Manual, revision nr. 10, ožujak 2018.
5. URL: http://www.smartcockpit.com/docs/Getting_To_Grips_With_Weight_and_Balance.pdf (pristupljeno: svibanj 2018.)
6. URL: <https://centreforaviation.com/analysis/reports> (pristupljeno: svibanj 2018.)
7. URL: <http://redwoodva.net/index.php/aircraft> (pristupljeno: svibanj 2018.)
8. URL: <https://3dwarehouse.sketchup.com/collection/c0a06a87950d5e9249c99822d95befe2/planes> (pristupljeno: svibanj 2018.)
9. URL: <http://www.skycargo.com/english/about-us/our-fleet/?plane=4> (pristupljeno: svibanj 2018.)
10. URL: <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c02-p02.html> (pristupljeno: svibanj 2018.)
11. URL: <https://www.flightradar24.com/> (pristupljeno: svibanj 2018.)
12. URL: <https://www.travelmath.com> (pristupljeno: svibanj 2018.)

POPIS SLIKA

Slika 1.	Sile koje djeluju na zrakoplov	4
Slika 2.	Osi za određivanje momenata zrakoplova	5
Slika 3.	Prikaz grafičkog izračunavanja težišta zrakoplova B777	12
Slika 4.	Putnički manifest	15
Slika 5.	Robni manifest	16
Slika 6.	Uputa ukrcaja / iskrcaja	17
Slika 7.	Lista uravnoteženja i opterećenja zrakoplova Dash8 – Q400	18
Slika 8.	NOTOC (Notification to Captain	19
Slika 9.	Uputa ukrcaja/iskrcaja za zrakoplov Croatia Airlines A319	22
Slika 10.	Dimenzije vrata prednjeg teretnog odjeljka zrakoplova Croatia Airlines A319	23
Slika 11.	Dimenzije vrata stražnjeg teretnog odjeljka zrakoplova Croatia Airlines A319	24
Slika 12.	Prtljažni odjeljci zrakoplova A319 Croatia Airlines	25
Slika 13.	Paleta vrste PLA	29
Slika 14.	Kontejner vrste AKE	30
Slika 15.	Kontejner vrste AKL	31
Slika 16.	Kontejner vrste ALF	31
Slika 17.	Kontejner vrste AMP	32
Slika 18.	Kontejner vrste AMF	32
Slika 19.	Razmještaj kontejnera, paleta i komadne prtljage na zrakoplov B777	33
Slika 20.	ULD naljepnica	34
Slika 21.	Prednji prtljažni prostor zrakoplova B777	35
Slika 22.	Stražnji prtljažni prostor zrakoplova B777	35
Slika 23.	Prtljažnik za komadnu prtljagu zrakoplova B777	36
Slika 24.	Prtljaga i putnici na letu Croatia Airlines OU470	39
Slika 25.	Utovarna lista za let Croatia Airlines OU470	39
Slika 26.	Mase na letu Croatia Airlines OU470	40
Slika 27.	Završni pregled rezultata uravnoteženja i opterećenja na letu Croatia Airlines OU470	40
Slika 28.	Lista uravnoteženja i opterećenja za let Croatia Airlines OU470	41
Slika 29.	Plan utovara za zrakoplov Emirates B777	42
Slika 30.	Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 1 i 2	43
Slika 31.	Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 3 i 4	44
Slika 32.	Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 5	45
Slika 33.	Podaci za let Emirates EK130	46
Slika 34.	Stvarne i maksimalne mase na letu Emirates EK130	46
Slika 35.	Završni pregled rezultata uravnoteženja i opterećenja na letu Emirates EK130	47
Slika 36.	Podaci o teretu na letu Emirates EK130	47
Slika 37.	Lista uravnoteženja i opterećenja za let Emirates EK130	48

Slika 38. Rast cijena goriva u posljednje tri godine	51
Slika 39. Prosječna globalna brzina vjetra i smjer (siječanj)	52
Slika 40. Koridori kretanja zrakoplova između Europe i Sjeverne Amerike	52
Slika 41. Prikaz rute zrakoplova na letu iz Amsterdama za Montreal	53
Slika 42. Prikaz podataka na letu zrakoplova iz Amsterdama za Montreal	53
Slika 43. Prikaz leta zrakoplova iz Montreala za Pariz	54
Slika 44. Centar težišta pomaknut prema unaprijed, „nos“ prema dolje	55
Slika 45. Centar težišta pomaknut prema unatrag, rep prema dolje	55
Slika 46. Podaci za let Emirates EK130	57
Slika 47. Podaci o putnicima za let Emirates EK130	57
Slika 48. Kontejner vrste AKE	59
Slika 49. Paleta vrste PMC	59
Slika 50. Podaci o teretu na letu Emirates EK130	60
Slika 51. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 1 i 2	61
Slika 52. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 3 i 4	62
Slika 53. Utovarna lista za let Emirates EK130 – prtljažnik 3 i 4	63
Slika 54. Utovar komadne prtljage na let Emirates EK130	64
Slika 55. Završni pregled rezultata uravnoteženja i opterećenja na letu Emirates EK130	65
Slika 56. Lista uravnoteženja i opterećenja za let Emirates EK130	66

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifičnosti teretnih odjeljaka za zrakoplov Croatia Airlines A319	22
Tablica 2. Standardne mase putnika	26
Tablica 3. Standardne mase posade	26
Tablica 4. Suha operativna masa	27
Tablica 5. Mase zrakoplova s obzirom na registraciju zrakoplova	27
Tablica 6. Specifičnosti ULD paleta	29
Tablica 7. Specifičnosti ULD kontejnera	30
Tablica 8. Standardne mase putnika	37
Tablica 9. Standardne mase posade	37
Tablica 10. Razlike između opsluživanja A319 i B777	38
Tablica 11. Razlike pri uravnoteženju zrakoplova B777 i A319	49
Tablica 12. Standardne mase putnika	56
Tablica 13. Standardne mase posade	57
Tablica 14. Osnovni parametri 22 promatrana zrakoplova (dio 1)	73
Tablica 15. Osnovni parametri 22 promatrana zrakoplova (dio 2)	74
Tablica 16. Osnovni parametri 22 promatrana zrakoplova (dio 3)	75

POPIS GRAFOVA

Grafikon 1. Popunjenost kabine promatranih zrakoplova na ruti ZAG - DBX za 22 zrakoplova	76
Grafikon 2. Broj putnika po klasama za 22 zrakoplova	76
Grafikon 3. Realizirani utovar prema odjeljcima zrakoplova Emirates B777 za 22 zrakoplova	77
Grafikon 4. Odnos maksimalnih i stvarnih masa ZFW za 22 zrakoplova	77
Grafikon 5. Odnos maksimalnih i stvarnih masa TOW za 22 zrakoplova	78
Grafikon 6. Graf 6. Prkaz idealnog i stvarnog centra težišta na promatrana 22 zrakoplova Emirates B777	79



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **Utjecaj uravnoteženja i opterećenja širokotrupnih zrakoplova na
ekonomičnost leta**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 28.6.2018 _____

Student/ica:

Sara Črnko
(potpis)